

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Systémy vizualizace leteckých simulátorů na bázi PC technologií

PC – Flight Simulator Visualizing Systems

Student:

Rostislav Jiříčný

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.

Ostrava 2010

Zadání bakalářské práce

Student: **Rostislav Jiříčný**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3708R028 Technologie dopravy
Specializace: 70 Technologie údržby letecké techniky
Téma: **Systémy vizualizace leteckých simulátorů na bázi PC technologií**

PC – Flight Simulator Visualizing Systems

Zásady pro vypracování:

1. Analýza současné úrovně vizualizačního vybavení leteckých simulátorů.
2. Analýza možných řešení vizualizačního systému v reálných podmínkách leteckého simulátoru na bázi PC technologií.
3. Návrh řešení vizualizačního systému PC - leteckého simulátoru na ÚLD.
4. Návrh metodiky používání vizualizačního systému PC - leteckého simulátoru na ÚLD.

Minimální rozsah BP je 30 stran textu (obrázky, tabulky, grafy a přílohy se do tohoto rozsahu nepočítají) práce musí v rámci úvodu obsahovat kapitulu se stanovením cílů práce a v závěru zhodnocení dosažených cílů.

Seznam doporučené odborné literatury:

Letecké předpisy řady JAR STD

CORAL s.r.o., Veverkova 1343, 500 02 Hradec Králové: Vizualizační a řídicí systémy pro dispečerské a průmyslové aplikace založený na mezinárodních standardech a normách, www.coral.cz

Veřejně dostupné zdroje na internetu

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji tímto, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 10. května

.....

Rostislav Jiříčný

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 10. května

.....
Rostislav Jiříčný

Jméno a příjmení autora práce:

Rostislav Jiříčný

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Švermova 1, Bruntál, 792 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

JIŘIČNÝ, R. *Systémy vizualizace leteckých simulátorů na bázi PC technologií: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2010. 65 s.

Vedoucí práce: Smrž, V.

Bakalářská práce se zabývá analýzou dnešních vizualizačních systému civilních simulátorů na bázi PC technologií a jeho samotným návrhem pro potřeby simulátoru Ústavu Letecké Dopravy. V první části práce je uveden historický vývoj simulátorů a jejich zobrazovacích zařízení. Na tuto kapitolu navazují obecné výhody využívání simulátorů a jejich uplatnění. Dále jsou uvedeny současné způsoby vizualizace leteckých simulátoru, jejich analýza a zhodnocení. V poslední části práce je na základě získaných informací z předešlých kapitol, vyhotoven návrh celého zobrazovacího systému leteckého simulátoru.

ANNOTATION OF THESIS

JIŘIČNÝ, R. *PC – Flight Simulator Visualizing Systems: bachelor thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2010, 65 p.

Thesis head: Smrž, V.

The bachelor thesis deals with analysis of today's visualization system of civil simulators based on PC technology and its actual design for the needs of Department of Air Transport. The first part is given to the historical development of simulators and their visualizing systems. This chapter follow the general advantages of using simulators and their application. Listed below are the current methods of visualization of civil aircraft simulator, analysis and evaluation. The last part is based on information obtained from previous chapters, then the proposal is drafted for complete visualizing system of the Flight Simulator based on PC technologies.

Obsah

Seznam použitých zkratk.....	7
1 ÚVOD.....	9
1.1 Cíle bakalářské práce.....	10
2 LETECKÉ SIMULÁTORY.....	11
2.1 Historie leteckých simulátorů.....	11
2.2 Význam leteckých simulátorů.....	12
2.2.1 Výcvikový.....	12
2.2.2 Psychologický.....	13
2.2.3 Bezpečnostní.....	13
2.2.4 Ekonomický.....	13
2.3 Použití.....	14
2.4 Názvy certifikací.....	15
2.4.1 Certifikace.....	16
3 VIZUALIZAČNÍ SYSTÉM.....	17
3.1 Obrazový generátor.....	17
3.1.1 Microsoft Flight Simulator.....	17
3.1.2 X-Plane.....	22
3.1.3 FlightGear.....	24
3.2 Komparace Obrazových generátorů.....	25
4 ZOBRAZOVACÍ SYSTÉM.....	30
5 VNĚJŠÍ VIZUALIZACE.....	30
5.1 Kolimátorové zobrazovací systémy.....	31
5.1.1 Monitorové - Kolimátorové zobrazovací systémy.....	32
5.1.2 Projekční - Kolimátorové zobrazovací systémy.....	34
5.2 Projektory.....	37
5.3 Přímá Projekce.....	39
5.3.1 Zapojení vícekanálového uspořádání.....	42
5.4 Přímé zobrazení.....	43
5.4.1 Přímé zobrazení (bez kolimace).....	43
5.4.2 Přímé zobrazení s kolimací.....	48
6 VNITŘNÍ VIZUALIZACE.....	49
7 ÚROVEŇ VIRTUÁLNÍ REALITY.....	50
8 NÁVRH ŘEŠENÍ VIZUALIZAČNÍHO SYSTÉMU.....	51
SPLNĚNÍ STANOVENÝCH CÍLŮ.....	58
9 ZÁVĚR.....	59
10 SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ.....	60
11 SEZNAM PŘÍLOHY.....	61

Seznam použitých zkratk

3D	3 Dimenze	Three-dimensional
AGL	Nad úrovní země	Above Ground Level
ANSI	Americký normalizační úřad	American National Standards Institute
ATC	Řízení letového provozu	Air Traffic Control
BITD	Základní přístrojové výcvikové zařízení	Basic Instrument Training Device
CRT	Katodová trubice	Cathod Ray Tube
DLP	Technologie projektorů	Digital Light Processing
DPM	Technologie projektorů	Digital Projection Monitor
DVI	Digitální rozhraní	Digital Visual Interface
FDE	Model Letové dynamiky	Flight Dynamics Engine
FFS	Letový simulátor	Full Flight Simulator
FL	Letová hladina	Flight Level
FNTP	Trenažér letových a navigačních postupů	Flight Navigation Training Procedure
FOV	Zorný úhel výhledu	Field of View
FPS	Počet snímku za vteřinu	Frames per Second
FS	Flight Simulator	
FS9	Microsoft Flight Simulator 2004	
FSX	Microsoft Flight Simulator X	
FTD	Letové výcvikové zařízení	Flight Training Device
FTO	Letová výcviková organizace	Flight Training Organisation
GPWS	Výstražný systém blízkosti země	Ground Proximity Warning System
HD	Vysoké Grafické rozlišení	High-definition
HDMI	Digitální rozhraní	High-Definition Multimedia Interference
HW	Hardware	Hardware
I/O	Vstup/Výstup	In/Out
IFR	Pravidla letu podle přístrojů	Instrument Flight Rules
IVAO	Mezinárodní organizace virtuálního létání	International Virtual Aviation Organisation

JAR	Požadavky	Joint Aviation Requirements
LCD	Technologie	Liquid Crystal display
LCoS	Technologie	Liquid Crystal on Silicon
MCC	Spolupráce vícečlenné posádky	Multi Crew Co-Operation
MQTG	Certifikát	Master Qualification Test Guide
MS	Microsoft Corporation	Microsoft Corporation
PC	Osobní počítač	Personal Computer
PDP	Plazmová technologie	Plasma Display Panel
PFD	Hlavní letová obrazovka – přístroje	Primary Flight Display
QTG	Certifikát	Qualification Test Guide
RGB	Barevné schéma	Red-Green-Blue
SDK	Uživatelské rozhraní Simlatoru	Software Development Kit
STD	Syntetické výcvikové zařízení	Synthetic Training Device
SVGA	Rozlišení obrazu	Super Video Graphics Array
XGA	Rozlišení obrazu	eXtended Graphics Array
SXGA	Rozlišení obrazu	Super eXtended Graphics Array
UXGA	Rozlišení obrazu	Ultra eXtended Graphics Array
TCAS	Výstražný systém kolize letadel	Traffic Collision Avoidance System
TFT	Technologie obrazovek	Thin film transistor
TH2Go	Video rozdělovač	Triple Head 2 Go
TV	Televize	Television
TWY	Pojízďečka	Taxi Way
ÚCL	Úřad Civilního Letectví	Civil Aviation Authority
ÚLD	Ústav letecké dopravy	Department of Air Transport
USB	Typ konektoru	Universal Serial Bus
VFR	Pravidla letu podle za vidu	Visual Flight Rules
WAC	Technologie	Wide Angle Collimated
WIDE	Technologie	Wide Angle Infinity Display Eq
WiFi	Bezdrátové připojení	Wireless fidelity
WSXGA+	Rozlišení obrazu	Widescreen Super eXtended Graphics Array Plus

1. ÚVOD

Simulátorové létání na bázi PC technologií můžeme obecně přirovnat k desktopové letecké simulaci – tedy základní formě využití počítače za účelem simulace letounu v co možná nejvíce reálných podmínkách. Počítačová simulace má velkou výhodu v tom, že není ekonomicky příliš náročná, může si jí tedy dovolit větší množství zájemců o simulátorové létání. Navíc se dá funkčnost či kvalita simulátoru rozšiřovat a uživatel si sám volí záměr, nebo využití výhradně jen v závislosti na žádaných potřebách a dostupných financích. Nabízí se nám díky vysoké variabilitě možnost provozovat na simulátoru jakýkoli typ letounu na jakémkoliv letišti i ve velmi reálném grafickém zobrazení včetně okolní scenérie. Pocit tzv. „volné ruky“ má za následek že je právě tento způsob simulátorového létání mezi amatérskými hráči nebo leteckými profesionály nejrozšířenější. Zároveň se však jedná o platformu, jejíž technický i technologický vývoj za posledních několik let oproti certifikovaným platformám (zejména v grafické oblasti) rapidně pokročil. Díky tomuto jevu může komerční obrazový generátor (např. Microsoft Flight Simulator) nejen grafickým zpracováním lépe vypadat než certifikovaný simulátor (např. FNTF II MCC), ale i lépe pracovat. Díky velkému prostoru, který společnosti vyrábějící PC simulátory poskytují pro vlastní konfiguraci simulátoru a jeho rozšíření dovolují simulátoru nastavení ovladačů, využití radionavigačních i radiokomunikačních panelů včetně možnosti rozšíření vizualizačních systému do téměř reálné podoby s využitím více-kanálového zobrazení. Vybavenost PC simulátoru je omezena pouze, jak už tomu bývá zvykem, finančními limity.

Nicméně každý simulátor ať už PC nebo i certifikovaný představuje „pouze“ jakési syntetické zařízení a tedy nemůže plně nahradit skutečný letoun letící ve vzduchu. Simulátorové létání a používané simulátory jsou zde především proto, aby zvýšili úroveň dovednosti pilota, pro jeho přípravu k vykonání rozdílových či typových zkoušek, k osvojení daných návyků, bez nichž by bylo až nemožné v reálném provozu správně a včas reagovat na různé situace. Hlavním cílem komerčních certifikovaných simulátorů je hlavně radionavigační létání a létání podle přístrojů, včetně přípravy na rozdílovou zkoušku pro daný typ letounu a v poslední době u FFS (Full Flight Simulator) simulátorů i její vykonání, není již tedy vůbec nutné při rozdílové zkoušce používat skutečný letoun.

1.1 Cíle bakalářské práce

Bakalářská práce má tyto následující cíle:

- analyzovat současnou úroveň vizualizačního vybavení leteckých simulátorů a stanovit možná řešení vizualizačního systému leteckého simulátoru na bázi současných PC technologií
- návrh řešení vizualizačního systému PC - leteckého simulátoru pro potřeby ÚLD

2. LETECKÉ SIMULÁTORY

2.1 Historie leteckých simulátorů

Ačkoliv se tak nezdá, letecké simulátory mají za sebou již téměř stoletou tradici. Vůbec první simulátory vznikali již během první světové války. Byli to avšak jen velice zjednodušené makety letadel s mnoha elektromechanickými částmi, určené zejména k nácviku střelby či základním navigačním postupům. V roce 1929 sestrojil Američan Erwin Link simulátor Link Trainer (Obr 2.1), který měl již pohyblivou základnu o třech stupních volnosti a vylepšené palubní a navigační přístroje. Sloužil pro výcvik přístrojového létání a Americká armáda jich nakoupila do roku 1945 kolem 10 000 kusů. V Československu byly používány vylepšené modely Link Trainers II. Tyto simulátory sloužili česko-slovenské armádě i čs. Aeroliniím až do konce 60. let. Československé simulátory vyráběné převážně pro výcvik vojenských pilotů v Rudém Letově Otrokovice, používali pro svou vizualizaci kamerové systémy, které snímali plastický model terénu (někdy i dva) nad kterým se pohybovali a promítali je na projekční plátno před kabinu letadla. Při dostoupaní určité výšky se vizualizační systém přepnul na druhou kameru, která promítala pouze let v oblacích. Kamery měli možnost se naklánět v závislosti na výchylkách letounu. S expanzí výpočetní techniky v 70. letech přišli i nové metody a druhy vizualizačních systémů.



Obr.2.1 Link Trainer Simulator 1935

V roce 1972 vyvinula společnost Singer-Link kolimátorový zobrazovací systém, který pro projekci užíval projektorů, děliče paprsku a zakřiveného zrcadla. Nic méně tento vizualizační systém byl schopen nabídnout posádce pouze 28 stupňů široké zorné pole (FOV – Field of View). Pro zvětšení tohoto zorného pole byli poté tyto kolimátorové vizualizační systémy na simulátorech multiplikovány, což znamenalo jejich vícekanálové uspořádání. Tento systém nebyl ještě zdaleka tak propracovaný a tak docházelo k jistému zkreslení obrazu při „ne-kolmém“ pohledu na promítaný obraz, avšak díky dalšímu vývoji, tohoto zobrazovacího systému došlo k velkému zlepšení a zvýšení jisté úrovně virtuální

reality simulátoru. Simulátor TL-39M poprvé využil kolimátorového, barevného zobrazovacího systému. Simulátor letounu MIG21bis měl tří-monitorovou, černobílou, širokoúhlou televizní zobrazovací soustavu. S dalším vývojem zejména výpočetní techniky v 80.tých letech přišli další nové metody a způsoby vizualizace leteckých simulátoru, a to například WAC (Wide Angle Collimated) systémy či WIDE (Wide-angle Infinity Display Equipment) systémy, které používali zakřivené zrcadla se zaostřením v nekonečnu, což umožňuje více-členné posádce bezproblémový výhled na projekci pod jakýmkoliv úhlem. Tyto systémy se s jistými vylepšeními používají do dnes v tzv. FFS ,což jsou simulátory nejvyšší úrovně a certifikace.

2.2 Význam leteckých simulátorů

Simulátory obecně mají za úlohu vytvářet virtuální svět či virtuální podobu něčeho, ve skutečném světě reálného. Stejně je to i simulátorů leteckých. Letové simulátory slouží řadě různých aspektů a účelů. Bezpečnost létání, zrychlení a zvýšení kvality výcviku nových pilotů, typové konverze, udržení požadované úrovně kvalifikace a ovládání systému letadla, udržování návyku v nouzových situacích patří mezi nejpodstatnější. Dále také k vyšetřování různých porušení postupů pilotů letounu a u velmi složitých případů lze také simulátor použít k ověřování údajů letových zapisovačů a chování simulátoru. Letecké nehody se běžně rekonstruuji na simulátorech. Bohužel, letové simulátory hrály svou podstatnou roli i u letu 911 roku 2001. V současné době jsou letecké simulátory prakticky nezbytnou součástí nejen pro výcvik pilotů ale také letových posádek, testování avionických systémů letadel a podobně. Podle celosvětových statistik je leteckých simulátorů nedostatek a ty dnešní jsou v provozu téměř 24 hodin denně, kromě nutných servisních pauz na údržbu. Zabýváme-li se simulátory pro výcvik pilotů či udržování jejich kvalifikace mají pro nás simulátory několik významů:

2.2.1 Výcvikový

Letecký simulátor nám dává oproti reálnému létání obrovskou možnost a výhodu v tom, že je nám umožněno vytvořit jakékoliv podmínky pro let. Například volbu letounu, letiště, prostředí, roční období nebo meteorologických vlivů. Díky této možnosti nám nedělá problém uspořádání posloupnosti výcviku a to od nejjednodušších operací až po řešení situací rizikových či krizových. Dále v možnosti opakování jednotlivých situací, simulování různých závad a chyb. Provedený výcvik nebo let je možné poté snadno analyzovat a vyhodnotit pomocí plnohodnotného záznamu výcvikového letu s možností

následného přehrání. Určitý typ leteckých simulátorů lze využít také pro výuku vícečlenné posádky a jejich spolupráce.

2.2.2 Psychologický

Díky správnému rozčlenění posloupnosti výcviku od nejjednodušších operací po složitější můžeme například snížit míru stresu nebo ji úplně odstranit, což je velice výhodné zejména v začátcích výcviku, kdy pilot teprve stroj poznává a učí se jeho obsluhy. Ke stresovému chování či psychickému vyčerpání pilota dochází, pokud je letoun tzv. nad jeho síly. Trénováním a opakováním jednotlivých činností tento nešvar postupně odpadá. Můžeme také naopak stresové chování vyvolat, například zvýšením počtů operací v kombinaci s nouzovou činností a pozorovat tak posádku jak se těchto složitých situacích zachová. Vybavenost neboli úroveň certifikace leteckého simulátoru, ruku v ruce souvisí s psychologickým zatížením přenášeného na pilota. Z velké části záleží na vizualizačním zařízení, zda je simulátor vybaven pohyblivou platformou a v neposlední řadě i ozvučením kokpitu. Tyto základní systémy totiž mají na svědomí stimulaci lidských vněmů a tím tedy i určují hladinu důvěryhodnosti simulátoru.

2.2.3 Bezpečnostní

Účelem je připravit piloty na nouzové stavy, které nelze na reálném letadle cvičit, jako jsou například požáry motoru, oddělení motoru od letadla v jakékoliv fázi letu, ztráta přetlaku a mnoho dalšího. Simulátory nabízejí možnost vřazení do probíhajícího letu nespočet závad, chyb a postupů a co navíc, závady se na simulátoru ještě kombinují, piloti jsou tedy cvičeni na situace, u nichž je pravděpodobnost, že k nim reálně dojde, poměrně mizivá. Z posledních statistik vyplývá, že letecké incidenty nebo nehody způsobené chybou posádky jsou více jak z poloviny důsledkem nevyhovujícího výcviku a negramotnosti pilota vyplývající z nedostatečných znalostí podstaty procesů probíhajících po dobu letu. Letecký simulátor a výcvik na něm vylučuje možnost havárie nebo incidentu a tak i újmám na zdraví posádek. Pro tuto neskutečnou výhodu, se simulátory používají nejen pro nouzové postupy, které není možno v reálném létání zkoušet či testovat chování posádek což velkou mírou přispívá k celkové bezpečnosti letového provozu.

2.2.4 Ekonomický

Létání na simulátorech při výcviku přináší také ekonomickou výhodu oproti létání na skutečném typu letadla. Bereme-li v potaz pouze pronájem letadla, cenu paliva, údržbu či pojištění tak je jasné, že náklady na leteckém simulátoru jsou podstatně nižší než provozní

náklady na simulovaných letadlech. U některých velkých dopravních letadel mohou být provozní náklady výcviku až několikanásobně nižší na FFS než na skutečném typu letadla. Díky velkému nástupu počítačové techniky a její využití v oblasti letecké simulace se stal výcvik či provoz simulátoru výrazně levnější než provoz reálného letounu.

2.3 Použití

Ve dnešní době se setkáváme se simulátory, které jsou téměř 100% replikou reálného letounu. Nejen že jeho kokpit je vizuálně úplně stejný, ale i letové vlastnosti a dynamický model letadla je totožný. Tyto typy se nazývají FFS. Součástí FFS simulátorů bývá i pohyblivá platforma která má až 6 stupňů volnosti a posádka pomocí platformy vnímá zrychlení letounu, náklony ve všech osách nebo drncání při poježdění po nerovné dráze či po TWY. Dokážou také simulovat kouř v kabině, atd. Letecké společnosti a FTO (Flight Training Organization) používají tento typ simulátorů pro výcvik posádek, pro typový, opakovací výcviky a přezkoušení. Dále se letecké simulátory používají pro výcvik IFR (Instrument Flight Rules) - lety dle přístrojů a MCC (Multi Cooperation Crew) – součinnosti více-pilotní posádky. Tyto simulátory již nebývají až tak dokonalé jako typové simulátory FFS. Každý simulátor tedy dosahuje určité technické úrovně a je určen pro daný výcvik, těchto simulátorů je tak více typů. Nejvyšší úroveň jak už jsem poznamenal, představují typové simulátory FFS. Tyto simulátory jsou určeny k výcviku na konkrétní typ (Boeing 747, Airbus A321 apod.). Další kategorii tvoří simulátory FNPT - trenážer letových a navigačních postupů. Tento typ se podle úrovně rozděluje na FNPT I, FNPT II a používá se především na výcvik letů podle přístrojů; pokud je schválen, lze jej využít i na výcvik MCC. Nejnižší úrovní simulátorů je BITD což je vlastně základní přístrojové výcvikové zařízení.

	Typ I	Typ II	Typ III	Typ IV	Typ V	Typ VI	Typ VII
Kvalifikace	PPL,MPL1, CPL	IR	Class Rating	MPL2	TR,ATPL, IO,RO,RL	MPL3	TR,ATPL,I O,RE,RO,R L,MPL4,CQ
Kokpit	Třída let. uzavřený	Základní otevřený	Třída let. uzavřený	Třída let. uzavřený	Replika let. uzavřený	Třída let. uzavřený	Replika let. uzavřený
Přístroje & Panely	Přemaskovaný panel				HiFi Přemaskovaný panel		Totožné přístroje
Okolí	Otevřené				Uzavřené		
Zobrazovací systém	Přímé 200x40	Přímé 45x30	Přímé 200x40	Přímé 45x30	Přímé 200x40	Kolimatorové 200x40	
Pohyblivá základna	Žádná					6 DOF	

Tab. 2.1 Rozdělení tříd a minimálních požadavků na simulátor

2.4 Názvy certifikací

Dle předpisu JAR-STD A jsou jednotlivé typy charakterizovány takto :

Syntetické výcvikové zařízení (STD). Výcvikové zařízení, kterým je buď letový simulátor (FS), letové výcvikové zařízení (FTD), trenažér letových a navigačních postupů (FNPT) nebo základní přístrojové výcvikové zařízení (BITD).

Letové výcvikové zařízení (FTD)

Replika přístrojů v letounu, vybavení, panelů a řízení v otevřeném nebo uzavřeném prostoru pilotní kabiny, provedená ve skutečné velikosti včetně sestavy vybavení a softwarových programů nutných k předvádění letounu v pozemních a letových podmínkách. Nevyžaduje pohybový systém ani systém vizuální orientace. Je v souladu s minimálními standardy na úroveň Osvědčení FTD.

Základní přístrojové výcvikové zařízení (BITD).

Pozemní výcvikové zařízení předvádějící stanoviště pilota žáka třídy letounů. Může být vybaveno panely přístrojů s obrazovkami a pružinami zatěžovaným řízením poskytujícím výcvikovou základnu nejméně pro nácvik postupů letu podle přístrojů.

Trenažér letových a navigačních postupů (FNPT).

Výcvikové zařízení představující prostředí pilotní kabiny/pilotního prostoru obsahující sestavu vybavení a počítačových programů nutných k předvádění typu nebo třídy letounů v letových podmínkách v rozsahu odpovídajícímu tomu, jak systém funguje v letounu. Je v souladu s minimálními standardy na specifickou úroveň osvědčení FNPT.

Typy FNTP : FNTP I, FNTP II, FNTP II MCC (viz Příloha B)

Letový simulátor (FFS). Replika pilotní kabiny provedená ve skutečné velikosti specifického typu nebo provedení, modelu a série včetně sestavy úplného vybavení a počítačových programů nutných k předvádění letounu v pozemním a letovém provozu, systému vizuální orientace poskytující výhled z pilotní kabiny a pohybového systému. Vyhovuje minimálním standardům na osvědčování letového simulátoru.

Úrovně FFS : Level A, B, C, D

2.4.1 Certifikace

Výcvikové zařízení je z hlediska kvality hodnoceno na základě řady kritérií. Na zařízení jsou prováděny různé regulační, objektivní a subjektivní testy. Výsledky každého testu, společně s dalšími významnými informacemi o výcvikovém zařízení a jeho provozovateli, jsou zaznamenány v tzv. QTG (Qualification Test Guide).

Letová výcviková zařízení (FTD), které mají být použity pro výcvik pilotů nebo jejich kontrolu, musí být hodnoceny a certifikovány místním Úřadem pro civilní letectví (ÚCL). MQTG (Master QTG) je tzv. vstupním výsledkem testu daného letového výcvikového zařízení, podrobnosti o počátečním provedení zařízení, jak byla přijata certifikačním orgánem. Pravidelné obnovování osvědčení neboli opětovné získávání certifikace se provádí pravidelně, obvykle v jednoročních intervalech (i když interval může být i nižší, a to 6 měsíců či vyšší, 36 měsíců dle rozhodnutí ÚCL). Jakákoliv výrazná změna či odchylka může vést k pozastavení nebo zrušení osvědčení letového výcvikového zařízení.

Kritéria, podle kterých se hodnotí STD, jsou definovány v předpise JAR-STD A. Zkušební požadavky se liší mezi jednotlivými úrovněmi kvalifikace, ale téměř všechny úrovně vyžadují, aby FTD prokázali, že se mají podobné letové vlastnosti, jako skutečné letadlo které simulují.

3. VIZUALIZAČNÍ SYSTÉM

Nezbytnou součástí dnešních letových simulátorů je vizualizační systém. Úlohou vizualizačního systému je, že za pomoci informací o poloze letadla generuje z databáze terénu a scénérií obraz scény výhledu z kabiny daného letadla a tyto data neboli obraz poté vykresluje na zobrazovacím zařízení. Tyto zobrazovací systémy se mimo vykreslování obrazu okolního prostředí používají i pro zobrazování přístrojů či celé přístrojové desky a dalších částí interiéru kabiny. Na základě popsané funkce je možné vizualizační systém rozdělit na následující podsystémy:

- **Obrazový generátor**
- **Zobrazovací zařízení**

3.1 Obrazový generátor

V současné době existuje na trhu celá řada komerčních i nekomerčních obrazových generátorů neboli softwarů pro generování obrazu. Mezi nimi jsou i takové generátory obrazu, které jsou speciálně vyvinuty pro letecké simulátory. Za nejznámější softwary se pokládají Flight Simulator od společnosti Microsoft, FlightGear či X-Plane. Obrazové generátory soukromých společností vyvíjejících svoje simulátory či vojenských útvarů, pracují téměř na stejných principech jako oba dva dříve jmenované obrazové generátory, ale díky ochraně „Know-How“ se mi o nich nepodařilo zjistit žádné bližší informace.

3.1.1 Microsoft Flight Simulator

Historie Microsoft Flight Simulátoru spadá až daleko k začátkům samotné firmy Microsoft. Za otce tohoto simulátoru se považuje Bruce Artwick. V roce 1975 napsal knihu s názvem " Vizualizace pro simulaci létání za pomoci minipočítačů" (Visual Flight Displays for Aircraft Simulations Using Minicomputers). V roce 1977 založil společnost SubLogic, která se zabývala tvorbou grafických softwarů. Nejdříve SubLogic použil pro svůj Flight Simulator platformu Apple II avšak ještě ve stejném roce podepsali smlouvu s Microsoftem pro vytvoření tohoto softwaru pro MS-DOS. V roce 1989 Bruce ArtWick odešel ze společnosti SubLogic a založil BAO společnost, která se dále zabývala tvorbou Flight Simulátoru pro Microsoft. V roce 1995, Bruce Artwick, prodal kompletně společnost BAO i práva na tvorbu Flight Simulátoru společnosti Microsoft.

První Verze 1.00 byla vydána v roce 1982 jako skoro vůbec první hra pro PC.



Obr. 3.1 Microsoft Simulator 1.00

V roce 1984 byla vydána verze 2.0, ve která již bylo možno používat myš a joystick zároveň. O čtyři roky později přišla v pořadí verze 3tí, která již byla plně pod správou společnosti Microsoft.

Microsoft FS 4.0, který vznikl v roce 1989, udělal největší pokrok v grafické části, respektive v oblasti kvality zobrazení scenerií a krajín. Poprvé se objevily komunikace, mosty, budovy a další. Za další 4 roky se na světě objevila verze 5.0, která poprvé obsahovala databázi krajiny a map které pokryly celý svět. Navíc se zde dala poprvé konfigurovat roční období či fáze dne a meteorologické efekty přišly ve verzi 5.1 o rok později. S novým operačním systémem (Windows 95) přišla i nová verze Flight Simulatoru a to verze 6, ve které byl představen Boeing 737 a vylepšená tzv. nápověda. O rok poté byl vydán update na verzi 6.1 s názvem Flight Simulator 98, který již podporoval lepší grafické rozlišení. Další verzí byl Flight Simulator 2000 (verze 7.0) ve kterém přišla zásadní změna v úrovni zobrazení terénu a textur. Byla zde již téměř všechna letiště na světě a přestaveny byly také nové typy letadel a to např. Boeing 747, Mooney, Concorde nebo King Air. O rok později byl pro tuto verzi vydán ještě update na 7.1. Automatické generování budov a porostu přišlo s verzí 8.0 (Flight Simulator 2002). Představen byl také tzv. virtuální kokpit s funkčními přístroji. ATC doznal zásadních změn a byl považován za tzv. živý ATC. Se stálým zlepšováním výpočetní techniky logicky přicházely další a další vylepšení Flight Simulatoru. V roce 2003 vyšel Flight Simulator: Century of Flight ve kterém byly zlepšeny efekty počasí a scenerie. Tato verze si vyžádala záplatu některých chyb a vylepšení verzí 9.1.

Ke konci 90.tých let začali různé společnosti vytvářet různé doplňky pro Flight Simulator, ať už softwarové add-ons s balíčkem scenerií či různých misí a vylepšení tak i hardwarové jakožto pedály, ovládací páky a další části pro ovládání letadla. Postupem času Microsoft Simulátor zajímal více a více lidí, vznikaly početné komunity zabývající se různým zlepšováním tohoto simulátoru či stavěním domácích kokpitů. Zajímavé je také to, že v posledních letech se markantně zvýšil počet Flight Simulatoru pro profesionální užití. Slouží jako generátory pro letové simulátory v leteckých školách a FTO. Používají ho také studenti US Navy nebo studenti z DAAE (Department of Aeronautical and Astronautical Engineering), kteří si v něm testují a osvědčují letové vlastnosti vlastních, vytvořených letadel či jejich částí. Podle výzkumu se zjistilo, že Microsoft Flight Simulator používá až 3 miliony lidí, především mužů nad 20 let. Z toho počtu přibližně 300 tisíc lidí létá on-line na tzv. virtuální internetové síti. Jejimi největšími zástupci jsou **VATSIM** a **IVAO**.

Poslední verzí je zatím **Flight Simulator X (verze 10.0)** vystupující s perfektním grafickým zpracováním jak letounu, kokpitu, ale i okolí, krajiny a možností nastavení mnoha parametrů od počasí po simulaci vysazení nebo požáru motoru. Figuruje taky lepším grafickým enginem kompatibilním s rozhraním DirectX 10 a operačním systémem Windows Vista. Tato verze obsahuje také nový Garmin G1000 glass kokpit, možnost obsluhovat ATC(pouze v multiplayeru), zlepšené grafické detaily letišť a měst. Takzvané X-ko byl první letecký simulátor který používal light bloom efekt a SDK Tool Kit.

Díky vyvinutí softwarů SDK (Software Development Kit) pro Microsoft Flight Simulator, se otevřela možnost uživatelům programovat, vytvářet a vylepšovat různé doplnky, modely, či scénérie pro vlastní Flight Simulator. Vytvořené add-ons se poté shromažďují na internetových portálech a v drtivé většině jsou volně ke stažení.

Doplňky:

Letadlo – je složeno z pěti částí:

- 1) Model – 3D CAD model daného letadla (exteriér + interiér, virtuální kokpit)
- 2) Textury- bitmapové editovatelné textury letadla, slouží pouze ke vzhledu (livery)
- 3) Zvuk – zvukový set letadla (zvuky-motorů, mechanizace atd.)
- 4) Panel – přístrojová palubní deska s přístroji (obvykle bitmapová textura s přístroji)
- 5) FDE (*Flight Dynamics Engine*)- tzv. dynamický modul letadla nám charakterizuje, jak se letadlo chová nejen ve vzduchu, ale i na zemi. Je popsán stovkami parametrů, které se dají editovat.

AI Traffic (Artificially Intelligent Traffic)

Tyto doplňky nebo funkce nám dávají možnost se v simulátoru potkávat s dalšími letadly, vzniká tak další zvýšení úrovně virtuální reality, protože je nutná komunikace s řídicím letového provozu, abychom zabránili možnosti srážky s okolními letadly.

Scénérie

Doplňky scenerií a krajin nám poskytují téměř až reálný obraz skutečného letiště či města. Díky celosvětovému používání MSFS a SDK tak můžeme stahovat krajiny, scenerie, města a letiště různých regionů z internetu a docílit tak téměř nulovou odlišnost od reality. Velmi dobře bývají zpracovány letištní komplexy, pozemní technika na letištích (cisterny, baggage auta, catering atd.). Stále více se používá implantace satelitních snímků na 3D terén, což výrazně zlepšuje celkový dojem. Některé scénérie jsou zpoplatněny, některé jsou tzv. freeware.

Počasí

Ve Flight Simulatoru X je možnost detailního nastavení počasí. Uživatel si může nastavit slunečný den, jemný jarní déšť, mohutnou letní bouřku nebo zimní sněhovou vánici. Není problém nastavit také rychlost a směr větru. Chce-li uživatel reálné počasí, MS FS si dokáže stahovat údaje o skutečném počasí a implementovat je do hry. Kvalita zobrazení počasí záleží na nastavení úrovně grafické úrovně nebo na tom zda je použit jeden z mnoha doplňků, například Real Enviroment X.



Obr. 3.2 Microsoft Flight Simulator 9, B737 přistává na LKMT

Existuje nespočet dalších doplňků pro zlepšení grafické úrovně počasí, záběry kamer atd. Microsoft Flight Simulator je nejrozšířenějším simulátorem na světě, a to zejména pro své všestranné využití. Simulátor se používá i v řadě profesionálních výcvikových center, v různých modifikacích a na různých úrovních (například Flight Safety dodnes používá MSFS k desktopovému výcviku budoucích pilotů).

Výhody

- ✓ Výborné detailní grafické zpracování
- ✓ Kvalitně propracované avionické systémy
- ✓ Velké množství rozšiřujících doplňků

Nevýhody

- ✗ Hardwarová náročnost
- ✗ Nedokonalý letový model

Minimální systémové požadavky:

- Microsoft Windows XP SP2 / Vista
- Procesor s 1 a více GHz
- 256 MB RAM pro systém Windows XP SP2 / 512 MB pro sys. Vista
- 14 GB volného místa na pevném disku
- DVD-ROM mechaniku
- 32 MB DirectX 9 kompatibilní grafickou kartu
- Zvukovou kartu, reproduktory nebo sluchátka
- Myš či ovládací páku
- Minimálně 128kbit-ové připojení pro IVAO/VATSIM

3.1.2 X-Plane (v9)

Další, hlavně poslední dobou opěvovaný software pro generaci obrazu, je X-Plane od firmy Laminar Research. Na rozdíl od Flight Sumilatoru, X-Plane běží i na operačních systémech MacOS, Linux, Windows ba dokonce i na Iphone od Apple. X-Plane v9 je velmi realisticky zaměřený letecký simulátor, jež naprogramoval jediný člověk – Austin Meyer. Hyperaktivní Američan je sám leteckým inženýrem, programátorem, pilotem a dodnes jediným autorem simulátoru X-Plane, který právě v této době vstupuje na trh v neaktuálnější verzi. Austin Meyer má létání v krvi, avšak programování ho v raném věku přitahovalo ještě více. Ve svém podnikatelském záměru neustával, toužil po tom, aby jeho simulátor používaly organizace typu NASA a Flight Safety, a každým dnem pracoval více než patnáct hodin po dobu téměř dvaceti let.

Díky unikátnímu zázemí flexibilního matematicko-fyzikálního modelu a vestavěného editoru, který umožňuje naprogramování vlastní konstrukce jakéhokoli letounu, dnes software používá jak NASA, tak i společnosti Piper nebo Cirrus. Letoun „The Jet“, připravovaný posledně jmenovanou firmou, poprvé vzlétl právě v této aplikaci (je součástí standardní nabídky letounů).

Poslední verzí X-Plane je verze v9. Jeho uživatele oslovuje především stoprocentní odezvou matematicko-fyzikálního modelu v každé situaci během letu, na úkor grafického provedení. Je nezbytné dodat, že kvalita dynamiky letu záleží čistě na dokonalosti modelu letadla. X-Plane je simulátor, který je naprogramován z hlediska letových možností především pro létání na letounech z oblasti všeobecného letectví (General Aviation). Simulator zatím tedy není příliš vhodný pro pilotáž dopravních typů letadel, neboť prozatím nezastupuje vyčerpávající možnosti, související s programováním rozsáhle integrované avioniky, včetně nad-hlavních panelů nebo například reálného využití FMS. Tyto prvky jsou dnes pro dopravní piloty v simulátoru nepostradatelné. X-Plane nabízí také možnost pilotovat letouny jak z pohledu schematicky velmi účelově zaměřeného 2D instrumentačního kokpitu, tak také z pohledu 3D interaktivního kokpitu, v němž je možnost již všechny funkční prvky, včetně avioniky, ovládat myší či pomocí dotykového displeje. X-Plane v rámci využití 3D interaktivního kokpitu podporuje zařízení pro snímání pohybu Trackir 4 PRO a rovněž podporuje přímou holografickou vizualizaci s využitím VUZIX i-Wear VR920, a to včetně integrované podpory. Velice přínosné je možnost zobrazení dynamických sil nejen během letu

Standardní nabídka letadel přináší 25 typů včetně vrtulníků a vojenských letounů. Další stovky modelů sou dostupné na internetu. Totéž platí o scénériích a řadě dalších doplňků.

X-Plane v 9 nám nabízí možnost navštívit téměř kterékoliv letiště na světě a svou instalací pokrývá více než 22 000 letišť. Pokud je váš počítač připojen k internetu, můžete využít reálných relací METAR a létat podle skutečného počasí prakticky kdekoli na světě. Excelentním prvkem simulátoru je však simulace poškození jak mechanických částí letounu, tak také jednotlivých systémů včetně avionického vybavení. V základu dokáže X-Plane v9 simulovat současně až pětatřicet různých závad na letounu, což je velmi dobré pro nácvik nouzových situací během létání podle přístrojů. Instalace simulátoru může na pevném disku dosáhnout až 70 GB dat, a to díky implementaci celého světa ve vysokém rozlišení topografické i elevační charakteristiky.

Z hlediska technologické úrovně je X-Plane použitelný v nižších detailech i na slabších počítačích, neboť se jedná o ryzí OPEN GL aplikaci, umožňující plynulou animaci nejen na platformě PC, ale také Apple Mac OS X. Kromě toho je simulátor kompatibilní s operačními systémy typu Windows XP, Vista a je vhodným typem simulátoru i pro fanoušky Linuxu. Musím konstatovat, že mě mile překvapilo vylepšení celkové simulační charakteristiky – zejména z hlediska odezvy řízení – a také pokrok v oblasti grafického zpracování terénu, 3D kokpitů, simulace počasí a hlavně vizuálně přesného zakřivení většiny významnějších letišť. Letiště v reálném světě nejsou rovná, některá jsou z kopce, jiná do kopce, a tento fakt X-Plane v9 dokáže zohlednit. Na opravdu velmi výkonném počítači se čtyř-jádrovým procesorem a výkonným grafickým akcelerátorem například N-vidia 9800GX2, si můžeme let vychutnat téměř na plné detaily.

Minimální systémové požadavky

- Minimálně 2 GHz procesor
- Operační paměť min. 1 GB RAM
- Grafickou kartu s nejméně 64 MB
- Minimálně 10 GB volného místa na pevném disku

Výhody

- ✓ Výborný letový model
- ✓ Tvorba vlastní konstrukce letadla či úprava stávajícího
- ✓ Věrná simulace počasí včetně stříhu větru, úplavem za letadlem

Nevýhody

- ✗ Zatím nedostatečně propracované avionické systémy
- ✗ Chudá databáze navigačních bodů



Obr. 3.3 Obrazový generátor X-Plane v9

3.1.3 FlightGear

FlightGear je postaven na technologii OpenGL, což je v dnešní době nejrozšířenější programátorské rozhraní pro vývoj 2D a 3D aplikací. Výpočetní nároky jsou srovnatelné s výkonem běžného stolního počítače. Doporučená je grafická karta s hardwarovým akcelerátorem OpenGL.

Díky svobodné licenci je možné na internetu nalézt mnoho rozšiřujících programů, jako jsou editory terénních databází a objektů (budov, mostů atd.).

FlightGear se v současné době používá na mnoha univerzitách (Technische Hochschule Aachen, University of Illinois a dalších) pro výzkumné a vývojové účely.

FlightGear je šířen pod licencí GPL jako open-source, což zaručuje možnost případné pozdější modifikace.

Výhody

- ✓ Je podporován na více platformách (Windows, Linux, Mac a další)
- ✓ Možnost manuálního naprogramování všech funkcí
- ✓ Freeware

Nevýhody

- ✗ Nepříliš dobré grafické zobrazení
- ✗ Neohromující letový model
- ✗ Celkově nedostatečně propracované nejen avionické systémy
- ✗ Nepohodlné prostředí generátoru

3.2 Komparace obrazových generátorů

Rozhodl jsem se porovnat mezi sebou Microsoft Flight Simulator X a X-Plane 9, jakož to dva nejvýkonnější obrazové generátory na současném trhu.

Microsoft Flight Simulator X vs. X-Plane

Test kvality grafického zobrazení a hardwarové náročnosti:

Počítačová sestava pro testování

AMD X2 5400+, 4G RAM, ATI HD2900XT (nevhodná pro generátor obrazu od Microsoftu)

Testované rozlišení: 1280x1024, AA 2x, anizotropní filtering

Testovaná oblast: Innsbruck a jeho okolí

Konfigurace OG: oba dva jsou nastaveny na default konfiguraci bez addonů (doplňků)

Počasí: mírné počasí (SCT 100 cumulonimbus, SCT 200 cirrus), poledne

Konfigurace X-Plane: Všechny detaily nastavené na maximum.

Konfigurace FS-X: Testování proběhlo na dvou konfiguracích

- FS-MAX - detaily na úplné maximum
- FS-NASTAVENÍ - detaily snižené na úroveň detailů odpovídající X-Plane, a to následovně:
 - vypnutý bloom
 - vypnuté DX10 efekty
 - voda nastavena na 2.0 medium
 - detailní terén a oblačnost nahrávány do vzdálenosti 30NM od letadla (X-Plane dál než 26NM nevidí)
 - vypnutý provoz na zemi (auta, lodě)
 - autogen na druhý nejvyšší level
 - textury byly ponechány v rozlišení 1m/pix, protože snížení na 5m/pix, které používá X-Plane nemělo vliv na FPS, a dohlednost FSX neumí snížit, X-Plane používá 26NM.

Objektivní hodnocení

Textury

X-Plane má mnohem pohlednější textury, než FSX. Jsou mnohem lépe barevně vyladěné a jejich podkladem pravděpodobně byly nějaké letecké snímky. Velmi dobře vyniknou při letu ve středních i vysokých hladinách, kde působí velmi plasticky. FS-X zde proti nim velice zaostává. Jakmile však sklesáme níže, kvalita textur je rázem pryč. Ze 300m nad zemí se textury změní v rozmazané fleky, jaké známe třeba z FS-9. Pod 300m AGL jasně vyhrává FS-X a to v jakékoliv konfiguraci.

Autogen

S texturami velmi těsně souvisí autogen. X-Plane zobrazuje celkově řidší autogen na větší vzdálenosti. FS-X oproti tomu ukazuje velmi hustý autogen v těsné blízkosti letadla, a ve větší vzdálenosti velmi řídne. Tento efekt se bohužel projevuje při jakémkoliv nastavení hustoty autogenu, vyšší nastavení pouze zvýší celkovou hustotu, autogen je však vždy zobrazen v menší vzdálenosti než u X-Plane. FS-X má navíc autogen přímo navázán na použitou texturu. X-Plane má proti pravděpodobně definované plochy zástavby mimo textury. Důsledek je takový, že ve FS-X v nízké hladině míváme husté lesy, ve městech stojí domy kolem měst a celkově let vypadá přirozeně. Když však nastoupeme výš, vzdálenější krajina je chudá. U X-Plane je efekt přesně opačný. Při letu mezi 5000 a 10000 stopami nevnímáme chyby v umístění autogenu, pouze míhající se objekty poměrně široko do dálky a celkový dojem, spolu s kvalitními texturami je velmi dobrý. Jakmile se však sneseme níž, domy či stromy stojí na zemi bez jakéhokoliv sladění a skladby.

Landclass

Do kategorie landclass nezahrnuji samotná landclassová data, ale způsob, jakým oba simulátory data zobrazují a hlavně navazují. Zde velmi evidentně vyhrává FS-X. FS-X používá systém, kdy každá textura obsahuje i informace o tom, kde jsou její význačné linie a engine na vykreslení krajiny, podle těchto linií ořezává obraz tam, kde textury navazují na sebe. Při přechodu z jedné textury na druhou pak vytváří větší polygony pokryté právě podle tohoto algoritmu a autogen navíc tyto přechody přesně kopíruje. Poté přechody mezi velmi rozdílnými texturami vypadají relativně nenásilně. X-Plane oproti tomu dvě sousední textury na přechodu sladí tak, že je rozdrobí na malé kousky, které promíchá mezi sebe. Kraj města je pak pokrytý necelými stromy, přerušovanými silnicemi, louky v lesích místo souvislých útvarů vytvářejí malé zelené kapičky. To je navíc umocněno autogenem, který je přes tyto přechody položen bez sladění, takže v lesích rostou stromy na loukách a

naopak na tmavém zeleném podkladu chybí a na okrajích měst stojí domy uprostřed zeleně a opodál jsou skvrny betonu bez zástavby.

Dohlednost

Pravděpodobně největší slabina celého X-Plane je dohlednost. Maximální dohlednost, která lze nastavit je 26 námořních mil, při kterých se nejvzdálenějších 5 mil ztrácí v šedivém oparu, a to je skoro nedostačující i pro lety v nízkých hladinách. Jakmile nastoupáte výš, krajina se okamžitě ztrácí hluboko pod vámi a z letu se stává pozorování šedomodrého oparu. FS-X proti tomu i na nejnižší možné detaily vykreslí všechno až na obzor. Jedinou výhodou přístupu X-Plane je, že relativně dál, proti FS-X, vykresluje textury, aniž by loadoval rozmazanější mipmapy. Nicméně tento efekt je pozorovatelný jen v nízkých hladinách mezi 5000ft až 10000ft, níže, anebo naopak výše už se neprojeví. Pokud je hardwarový výkon X-Plane získáván za takovouto cenu, pak se jedná o úzkoprofilový simulátor pro místní VFR piloty a akrobáty, kterým nevadí, že nevidí dostatečně daleko. Dohlednost osobně považuji za největší slabinu X-Plane.

Počasí

Na první pohled vypadá, že počasí v X-Plane je lépe zpracované, nežli ve FS-X. Efekt, kdy mraky vrhají stíny na zem, může FS-X X-Planu jen závidět a zpracování cumulů je také velmi pěkné. Když však začneme zkoumat počasí blíže, zjistíme, že množství zobrazované oblačnosti v X-Plane na maximum, pokrývá menší část oblohy než množství zobrazované oblačnosti ve FSX na minimum a samozřejmě se projevuje i výše uvedený problém s dohledností. Počasí se prostě nakreslí jen kolem vás a navíc nastavení SCT rozhodně nepokrývá 3-4/8 oblohy. Při nízkém letu to nevadí, ale při letu ve vysoké hladině je velmi znát každá míle a každé procento oblačnosti, které FS-X umí navíc. O to diametrálněji je pak znát, když se ve FS-X nastaví plné pokrytí a oblačnost se znázorňuje až více jak 100NM daleko.

Voda

Na rozdíl, od předchozí „beta-verze“ X-Plane 9, kde byl efekt vody krajně nepovedený, je u poslední Verze X-Plane 9.5x efekt vody velice zdařile zpracován. Oproti poslední verzi bylo jistě odstraněno jednak počítání povrchu hladiny po 4pixelech a také tmavé odrazení terénu. X-Plane-ová voda avšak někdy působí až moc plasticky a zejména při rychlém vertikálním pohybu skokově mění svůj vzhled. FS-X oproti tomu zobrazuje svůj standardní "olej", ale pěkně detailně (možná až nereálně moc).

HW náročnost:**S počasím:**

XPlane - nad zemí 30 FPS, ve FL350 50 FPS

FSX X-nastavení - nad zemí 25 FPS, ve FL350 30 FPS

FSX max - nad zemí 10 FPS, ve FL 350 25 FPS

Bez počasí:

XPlane - nad zemí 33 FPS, ve FL350 60 FPS

FSX - X-nastavení - nad zemí 30 FPS, ve FL350 50 FPS

FSX max - nad zemí 18 FPS, ve FL 350 30 FPS

Vítězství X-Plane, bylo očekávatelné. Vysoká hardwarová náročnost FS-X je známou věcí. Na druhou stranu kdo ví, jak odlišné by byli výsledky, pokud by bylo použito pro FS-X jistě přijatelnějších výrobců počítačových komponent Intel a nVidia. Lehce mě překvapil fakt, že X-Plane nevyhrál zcela na plné čáře, zvlášť kvůli velmi omezené dohlednosti a nižšímu rozlišení zpracovávaných textur. Rozdíl 60 versus 50 FPS bez oblačnosti, kdy X-Plane zobrazuje pouze malé kolečko 26NM pod letadlem a jinak šed', zatímco FS-X zobrazuje rozsah krajiny až na obzor (což je ve FL350 přes 100 NM daleko) je opravdu pozoruhodný. FS-X nastavená na maximum je samozřejmě velmi pozadu a není na tomhle PC létatelná. Zajímavé je, že FS-X už další snižování detailů příliš nepomůže - zisk FPS je minimální, pravděpodobně díky pasivitě grafické karty. U X-Plane samozřejmě s dalším snižováním kvality nastavení tzv. framy (FPS) rapidně rostou a HW náročnost se snižuje.

Celkový dojem - let nad zemí

X-Plane se jeví lehce rozmazaně, domy a stromy 100% nesedí na textury, fotorealistické textury vypadají podivně ploše.

FS-X-NASTAVENÍ - vypadá oproti X-Plane trochu lépe. Autogen sice nedosahuje tak daleko, ale textury jsou ostré a domy a stromy krásně pasují na textury.

FS-X-MAX - vypadá velice dobře, auta na silnicích, husté lesy, města plná domů, ale bohužel zatím ani na tomhle relativně výkonném PC nejde létat. Lepší by byla dvou-jádrová grafická karta a čtyř-jádrový procesor.

Celkový dojem - let v nízkých hladinách

X-Plane vypadá velmi dobře. Nesprávné umístění autogenu se ztratí, naopak vyniknou pěkné textury. Letadlo není tak vysoko aby se projevila malá dohlednost a naopak velmi pěkně vypadají stíny mraků a jako celek to vytváří dojem pěkné plastické krajiny. FSX X-NASTAVENÍ i FS-X-MAX vypadají o trochu hůře, viditelně se liší jen hustotou autogenu a oblačnosti + zobrazením vody. Oproti X-Planu působí krajina ploše a nevýrazně. Letadlo je už moc vysoko, než aby zobrazilo větší množství autogenu a textury tyto chybějící detaily nedoženou. Celkově bych řekl, že zde X-Plane dojmem předčí FS-X.

Celkový dojem - let ve vysokých hladinách

Zde X-Plane jasně prohrává a to i proti FS-X nastavené na nejmenší detaily. Výkonově je téměř stejně náročná jako FS-X a přitom i na nejvyšší detaily zobrazuje jen malý okruh kolem letadla a zbytek krajiny se utápí v neurčité šedé mlze. Nemá ani smysl porovnávat kvalitu zobrazení FS-X a X-Plane, protože není co porovnávat.

Shrnutí testu

Pokud celý „test“ shrnu, tak mohu říci, že pokud máme k dispozici počítač, na kterém obstojně pracuje FS-X, tak po grafické stránce přechodem na X-Plane neutrpíme žádnou velkou ztrátu. V poměru HW nároky s výsledným grafickým zpracováním ale X-Plane kraluje. Je třeba také dodat, že křivka jeho vývoje je velice strmá. Nevýhody či různé nedostatky obou obrazových generátorů se výrobci snaží „zalepit“ vydáváním různých Service Packů, upgradů a doplňků. Výhodou FSX je neomezená dohlednost a rozsah ve kterém umí zobrazit počastí, kvalitně umístěný autogen a navázání textur na zemi. Pokud nedisponujeme zrovna extrémně výkonným počítačem, který je potřebný k provozu FS X na maximální možné detaily, je X-Plane zastupující variantou a vypadá rozhodně lépe než FS 9.

4. ZOBRAZOVACÍ ZAŘÍZENÍ

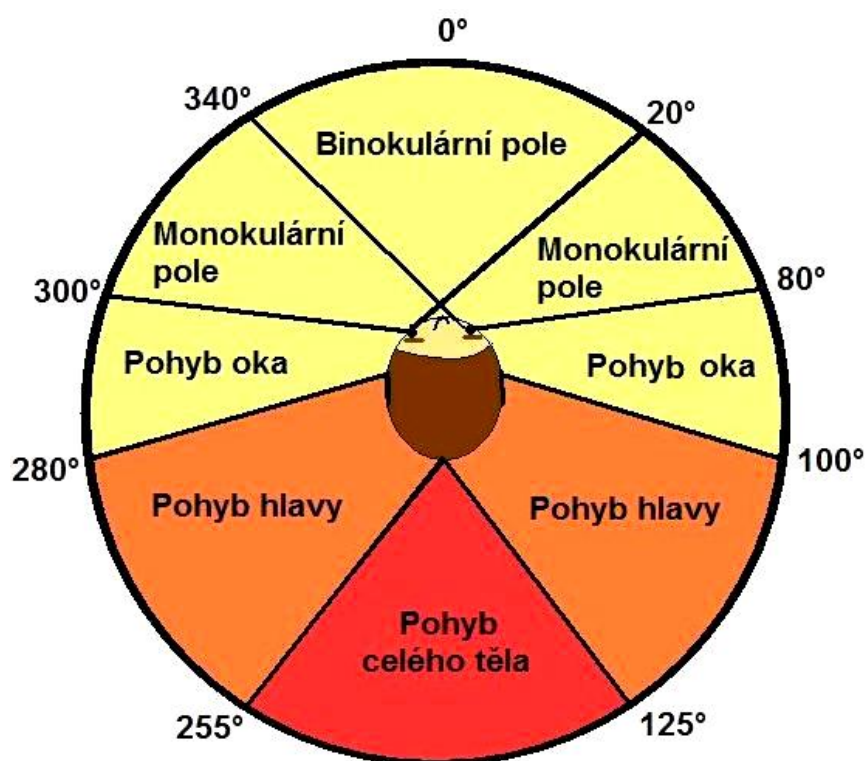
Zatímco obrazový generátor vytváří textury, objekty, scenérie, vodní plochy a další elementy scény, zobrazovací zařízení je vykresluje pro posádku simulátoru. Zobrazovací zařízení hraje významnou roli pro dosažení realistického výcvikového prostředí a tím i zajišťuje stimulaci lidských vněmových orgánů.

5. VNĚJŠÍ VIZUALIZACE (OUTSIDE VIEW)

Pro dosažení co největší úrovně virtuální reality klademe na zobrazovací zařízení mnoho kritérií, a to zejména vysoké rozlišení, široké zorné pole, celkovou kvalitu výsledného obrazu a další.

Zorné pole (FOV–Field of View)

Zorný úhel, pole lidského oka, dosahuje ve směru do strany (tedy pro levé oko vlevo a pro pravé vpravo) okolo 90° od osy hlavy. V opačném směru je to méně, asi 50° . Celkový zorný úhel oka ve vodorovné rovině je tedy asi 140° . Ve svislé rovině ve směru dolů je zorný úhel asi 50° , směrem nahoru, kde brání víčko, o trochu méně. Zorný úhel oka závisí na několika faktorech, především na intenzitě osvětlení, velikosti a také barvě pozorovaného bodu. Největší zorný úhel je pro bílou barvu, pak pro žlutou, modrou a červenou a neméně pro zelenou.

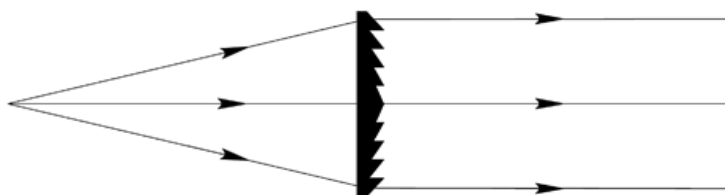


Obr. 5.1 Zorné pole člověka

Na základě těchto údajů a s ohledem na ergonomii jsou tak poté konstruovány i kokpity dopravních letadel. Velikost projekční plochy vizualizačního systému simulátorů se tedy liší podle toho, jaký typ letadla simulují, a tak není divu, že pro například vizualizaci vojenských stíhacích či akrobatických letadel se používají tzv. Doods, které poskytují 360° výhled z kabiny.

5.1 Kolimátorové zobrazovací systémy

Kolimátorové zobrazovací systémy se v dnešní době používají především pro vizualizaci nejvýkonnějších a nejvíce realistických komerčních letových simulátorů, tedy Full Flight Simulátorů (FFS). Tyto zobrazovací systémy používají nejmodernější technologie, což se nejvíce promítá v jejich ceně. Poskytují tzv. „pohled ven z okna“ s vysokým rozlišením, malým zkreslením a velkou hloubkou ostrosti obrazu. Největší výhodou kolimátorových zobrazovacích systémů je ovšem zaostření a posunutí promítaného obrazu do optického nekonečna.



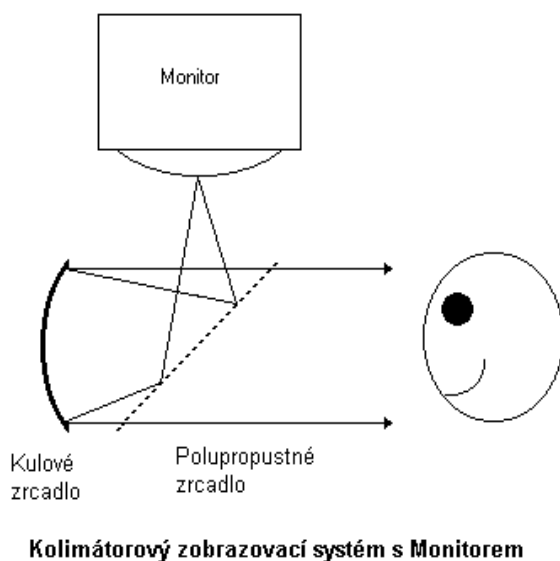
Obr. 5.2 Princip kolimace.

Posádka tak vnímá zobrazený obraz jako ve skutečnosti, například vzdálenost různých objektů atd. Nejčastěji se úhly výhledů z kabiny simulátoru pohybují mezi 180° - 225° v horizontálním a 40° - 60° ve vertikálním směru. Zobrazovací systém se rozkládá nad a před kokpitem simulátoru. V základu se skládá z projekčního zařízení (projektor-monitor), které promítá obraz na promítací plochu se zadní projekcí, která může být buď rovinná, kulová (parabolická) nebo i polopropustné zrcadlo (beamspliter). Ve vzdálenosti 1 až 1,5 metru se pak nachází parabolické (kulové) kolimátorové zrcadlo, ze kterého již posádka sleduje generovaný obraz. Díky vysoké výstupní pupile celého systému je umožněno oběma pilotům (side by side cockpit) pozorovat stejně koliminovaný obraz. Celý zobrazovací systém je důkladně zastaven do útrob samotného simulátoru kvůli jeho úplnému zatmění, tak aby poskytoval obraz o co nejlepším rozlišení a kvalitě. Tyto zobrazovací systémy bývají nejčastěji certifikované jako FFS - LEVEL D vizualizační systémy.

5.1.1 Monitorové - Kolimátorové zobrazovací systémy

(WAC –Wide Angle Collimated)

Tyto kolimátorové zobrazovací systémy používají k promítání obrazu konstrukčně upravený CRT monitor s vysokým rozlišením a kontrastem. CRT monitor, který je zavěšen vpředu, nad kokpitem, zobrazuje klasický obraz, který se přes polopropustné zrcadlo (beamsplitter) odráží na další sférické zrcadlo, které je uloženo cca 60-90 cm před pilotem a z kterého již posádka odezírá obraz. Monitor je uložen tak, že obraz se zobrazuje v ohnisku konkávního zrcadla. Optická vzdálenost mezi středem zrcadla a středem obrazu je okolo jednoho metru. Díky faktu, že ohnisková vzdálenost kulového zrcadla je jedna polovina poloměru jeho zakřivení, musí mít kulové zrcadlo minimálně 1,8 metru. Pro nejlepší sladění systému se používá monitor se zakřivenou obrazovkou, s rádiem zakřivení stejným jako jedna polovina poloměru kulového zrcadla. Za základní rozlišení používaných CRT monitorů se považuje 1280 x 1024 pixel a dále narůstá směrem nahoru, protože CRT monitory jako analogové displeje umožňují oproti LCD displejům změnu rozlišení obrazu a mají mnohem větší kontrastní poměr (až 20 000:1). Celý systém je důkladně zakapotován do obdélníkových beden tak, aby nedošlo k průniku světla do systému. S postupem času a nástupem nových technologií se u WAC systémů od používání CRT monitorů v kolimátorových zobrazovacích systémech upustilo a nahradili DPM jednotky (Digital Projection Monitor). DPM se skládá z LCoS projektoru, objektivu a speciálně zakřivené projekční plochy. Z venku připomíná CRT monitor, avšak s digitální technologií uvnitř. Kontrastní poměr DPM jednotek se šplhá až někam k 100 000:1.



Obr.5.3 Princip WAC



Obr.5.4 WAC systém na simulatoru FRASCA

WAC display používají pro různé velikosti zorného pole různých kanálových uspořádání:

- **Samostatný systém „jednoho okna“ (Single Window)**

Samostatný kolimátor je navržen tak, aby poskytoval uživateli vysoce kvalitní obraz výhledem skrze jedno okno kokpitu. Rám kolimátoru je čtvercového tvaru. Počet jednotek samostatných systému na simulátoru je ovlivněn počty oken či výhledů ven z kokpitu, což bývá okolo 4 a více.

- **Vícenásobné systémy s kanálovou separací (Multiple Window)**

Spojením více kolimátorů vedle sebe dohromady můžeme dosáhnout širokoúhlého horizontálního výhledu s kontinuální scénou. Mezi jednotlivá zrcadla se vkládají přepážky pro lepší sladění kontinuálního obrazu. Tento způsob je nejlepší v poměru cena/výkon.

- **Vícenásobné systémy bez kanálové separace (Multiple Window)**

Tento způsob je téměř totožný se způsobem předcházejícím, avšak mezi zrcadly se nepoužívá přepážek, protože je použito přesně přiléhajících, navazujících kulových zrcadel. Promítané obrazy sousedících kanálů se díky precizní geometrii a seřízení okrajů totožně překrývají a tak vytvářejí nepřerušovaný širokoúhlý obraz. Tento způsob je nejpoužívanější.

Výhody

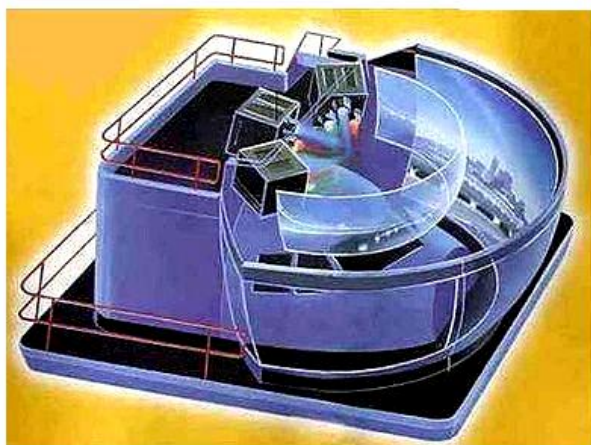
- ✓ Velmi vysoký kontrastní poměr (20 000:1 nebo více)
- ✓ Perfektní nastavení činitele gama, stejný po celé ploše obrazovky
- ✓ Krátká doba odezvy
- ✓ Výborné zobrazení barev, široký rozsah a nízká úroveň zobrazení černé barvy
- ✓ Jsou schopné zobrazit nativně několik rozlišení při různé obnovovací frekvenci
- ✓ Skoro nulová barevná, saturační, kontrastová či jasová deformace, výborné pozorovací úhly
- ✓ Spolehlivá, osvědčená technologie

Nevýhody

- ✗ Velké rozměry a tím i velká hmotnost (40" display váží přes 100 kg)
- ✗ Geometrické zkreslení u neplochých CRT monitorů
- ✗ Starší CRT monitory jsou náchylné k vypalování
- ✗ Citlivé na vyšší vlhkost vzduchu
- ✗ Citlivost na rušení magnetickým polem v okolí monitoru (Stačí i místní zdroj)
- ✗ Při nízké obnovovací frekvenci viditelně problikává
- ✗ Elektromagnetické záření (výrobci se snaží-li omezovat)

5.1.2 Projekční - Kolimátorové zobrazovací systémy

Vývojem nových technologií se kolimátorové zobrazovací systémy začali osazovat projektory. Systém je složen z projektorů zavěšených nad kokpitem, promítajícího obraz na zakřivenou sférickou promítací plochu se zadní projekcí, která je umístěna vpředu nad kokpitem simulátoru. Kolem celého simulátoru je potom velké, sférické, zakřivené zrcadlo, které odráží obraz ze zakřivené promítací plochy nad kokpitem přímo do prostoru oken kokpitu. Velikost a zakřivení tohoto sférického zrcadla závisí na požadované velikosti zorného pole. Je to vlastně princip přímého zobrazení obrazu na zakřivenou plochu se zadní projekcí, avšak tento obraz ještě není pozorován posádkou, nýbrž až po tom, kdy je odražen kolimátorovým zakřiveným sférickým zrcadlem. Rádus zakřivení bývá od 2 do 4m. Díky tomuto zrcadlu se stává tento systém nejbližší realitě, protože posouvá obraz do optického nekonečna. U sférických zrcadel dochází ke zkreslení v důsledku sférické aberaci, avšak projekční systémy se tuto nedokonalost snaží kompenzovat zakřivením čočky projektoru. Tento zobrazuje věrohodný, realistický, panoramatický výhled z kokpitu s velkým zorným polem (podle počtu kanálů = projektorů).



Obr. 5.5 Projekční kolimátorový zobrazovací systém

Zrcadla

- **Foliové zrcadlové systémy**

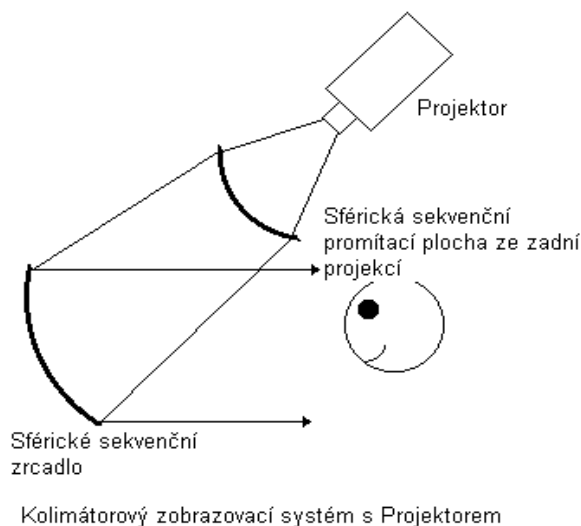
Patří mezi levnější technologie, poskytují nepřerušný obraz po celé ploše zrcadla (FOV). Splňuje požadavky JAR – STD A pro FFS simulátory

- **Skleněné zrcadlové systémy**

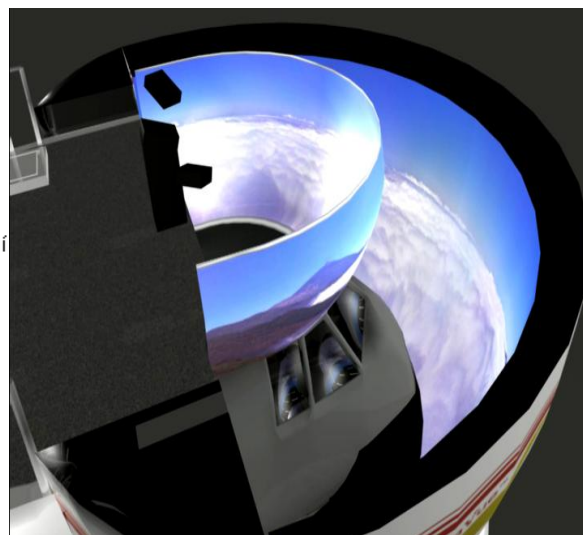
Tyto zrcadlové systémy poskytují perfektní optické vlastnosti a splňují ty nejnáročnější požadavky, včetně rozšířeného vertikálního úhlu výhledu.

- **Akrylové zrcadlové systémy**

Díky materiálu, ze kterého jsou tyto zrcadlové systémy vyrobeny (Akryl/Polyakryl) jsou velice lehké a odolné za všech podmínek. Jsou vhodné pro často rozebírané a mobilní zobrazovací systémy.



Obr. 5.6 Princip Projekčního kolimatorového systému



Obr. 5.7 Projekční Kolimatorový systém

Seřizovací systémy

Moderní zobrazovací systémy, ke kterým jistě ty dnešní kollimatorové zobrazovací systémy patří, obsahují také systém kalibrace, seřízení a údržby. Provádí se pomocí software i hardware. Velice výhodná je funkce auto-korekce s feedback-em, kdy je výsledný obraz snímán vysoce citlivou kamerou, vyhodnocován a seřizován dle vhodnosti. Většinou má vizualizační software vlastní servisní stanici (PC).

Softwarové seřízení

Auto-Alignment (seřízení multi-kanálových systémů)

- kompletní systém pro správu barev, výpočty geometrie, ostrosti a úpravy profilu
- geometrie a seřízení obrazů jednotlivých kanálů, diagnostická zpětná vazba

Korekce zkreslení obrazu

Díky zakřivení zrcadla je potřeba promítat obraz zkreslený, zakřivený a ne klasicky rovný. Tato funkce obraz digitalizuje, vhodně zkreslí a s 24bitovou barevnou hloubkou promítá na zrcadlo. Zkreslování se provádí pomocí výpočtů složitých polynomu a odvozených algoritmů, které využívají bi-kubických interpolací pro lepší optimalizaci kvality obrazu.

Referenční zarovnání

Zarovnávací systém používá širokoúhlého 35 mm diaprojektoru k zobrazení referenční sítě specifické pro jednotlivé konfigurace zobrazení systému. Projektor zobrazuje vzory referenční sítě skládající se z řádků stejné úhlové vzdálenosti, a to jak v azimutu, tak i v elevaci, která napomáhá při zarovnání projektorů.

Výhody

- ✓ Velmi vysoký kontrastní poměr (50 000:1 nebo více)
- ✓ Velký zorný úhel výhledu z kokpitu
- ✓ Zaostření v nekonečno
- ✓ Výborná úroveň věrnosti a požitku ze simulace
- ✓ Realistický výhled na jakoukoliv stranu, z jakéhokoliv místa

Nevýhody

- ✗ Až astronomicky drahé
- ✗ Ekonomicky velice náročný provoz
- ✗ Složitá údržba
- ✗ Složité vícekanálové a optické sladění

5.2 Projektory

U současných moderních kolimátorových zobrazovacích systémů se již téměř vůbec nepoužívají CRT projektory. Díky rozvoji moderních technologií se vyvinuli nové technologie projekce a výhody, které přinášeli CRT monitory, se tak přenesli na nové, jiné technologie. Nejvíce používané technologie jsou DLP a v posledních letech zejména super-technologie LCoS. Jejich jas se pohybuje až kolem 500,000 : 1 ANSI lumenů a rozlišení až WQXGA (2560 x 1600 pixel). U přímého zobrazení projektory se používá technologie DLP

CRT (Cathod Ray Tube)

Základem jsou tři projekční „obrazovky“ principiálně podobné těm v běžných televizních přijímačích či počítačových monitorech. Každá z nich promítá v jedné ze základních barev (červené, modré a zelené) a výsledný obraz je potom složen na projekční ploše. Tato technika patří k nejstarším a používá se dnes pouze výjimečně, a to u pevných instalací. Seřízení a kalibrace CRT projektorů je velmi složitá a zdlouhavá záležitost.

Výhody

- ✓ výborná kvalita reprodukce barev
- ✓ vysoké rozlišení i kontrast
- ✓ spolehlivost a dlouhodobý provoz
- ✓ kvalitní úroveň černé barvy

Nevýhody

- ✗ omezená oblast použití
- ✗ překonaná technologie
- ✗ větší rozměry a hmotnost

DLP (Digital Light Processing)

Jádrem těchto projektorů je jeden případně více DMD čipů. Je to čip, na kterém jsou malá zrcátka, někdy je také nazýván DLP čip. Poté, co lampa vyrobí světlo, projde světlo přes optickou čočku a dopadne na rotující barevný kotouč, který změní vlnovou délku světla. Na kotoučku bývají minimálně tři základní RGB barvy a jedna průhledná část pro zvýšení jasu. Na kotouči může být i více barev, namátkově žlutá či azurová. Obarvené světlo z kotouče putuje do další čočky, která nasměruje světlo na DLP čip. Pohyb kotouče a zrcadel na čipu je velmi přesně synchronizován. DLP čip vytvoří obraz pootočením zrcátek. Jedná se o reflektivní, tj. odrazovou technologii. Texas Instruments uvádí až 1024 pohybů zrcátek za sekundu.

Právě takto vzniká šedá a všechny barevné odstíny. Čím déle je zrcadlo vystaveno světlu, tím světlejší odstín je.

Výhody

- ✓ Perfektní přesnost a podání barev
- ✓ Vynikající kontrast
- ✓ Slušné detaily a kvalita stínů
- ✓ Opravdu čistě digitální technologie

Nevýhody

- ✗ Lampa nevydrží příliš dlouho
- ✗ Menší ostrost obrazu
- ✗ Nižší světelný výkon

LCoS (Liquid Crystal on Silicon)

Jedná se o poměrně novou technologii projektorů. Cenově jsou LCoS projektory zatím pro většinu populace nedostupné. Stojí za nimi několik firem, jedná se především o JVC a jejich technologii D-ILA (Direct-Drive Image Light Amplifier), dále Canon a Sony s SXRD (Silicon X-tal Reflective Display). Princip je kombinací LCD a DLP projektoru a využívá pro svůj chod to nejlepší z této dvojice LCD a DLP. Jedná se o hybridní metodu, která je prakticky totožná s DLP, avšak místo odrazových zrcadel, které ovládají svit jednotlivých pixelů, je zde použita vrstva tekutých krystalů (jako u LCD). Lampa vyrobí světlo, hranol rozdělí světlo z lampy na tři základní barvy, tyto světlené paprsky dopadnou na LCoS displej a od toho se podobně jako u DLP projektorů odrazí. Obraz na displeji je v odstínech šedi. V případě černé barvy se světlo neodrazí, čím světlejší barva, tím více světla se od displeje odrazí. Odražené světlo putuje opět do hranolu, kde se spojí všechny barevné složky a nakonec zamíří přes optiku na plátno.

Výhody

- ✓ Vysoké rozlišení
- ✓ Disponuje vynikajícím barevným podáním
- ✓ Vysokým kontrastem
- ✓ Nemá duhový efekt

Nevýhody

- ✗ Vysoká cena

Parametry projektorů

- **Rozlišení** (pixel) - SVGA (800×600), XGA (1024×768), SXGA (1280×1024), UXGA (1600×1200), QXGA (2048×1536), WQXGA (2560×1600), HD 720p (1280×720), HD 1080p (1920×1080)
- **Světelný výkon - Jas** (udává se v ANSI lumenech) - čím je vyšší, tím je promítaný obraz jasnější a kvalitnější (v dnešní době 2000 a více ANSI lumenů)
- **Kontrast** - poměr nejsvětlejšího a nejtmavšího bodu (např. u 1000:1 je nejsvětlejší bod 1000-krát světlejší, než bod nejtmavší).
- **Rozměry a hmotnost a hlučnost** – dnes okolo 20-30dB
- **Životnost lampy** – pohybuje se okolo 2000 až 8000 hodin
- **Rozhraní** - konektory pro připojení zdrojů videosignálu: D-sub,RCA,VGA,HDMI, DVI, RJ-45, mini-DIN. Dnes se postupně stává standardem připojení přes LAN (RJ-45) a Wi-fi (802.11 b/g).

5.3 Přímá projekce

Dalším způsobem jak zobrazovat generovaný obraz je jeho přímá projekce na projekční plochu. Tento vizualizační systém obsahuje pouze dva členy a to: projektor(y) a promítací plochu. Z ekonomického hlediska není přímo-projekční zobrazovací systém zdaleka tak finančně náročný jako například kolimátorové zobrazovací systémy, ale na druhou stranu nemá tak dokonalou úroveň virtuální reality díky zaostření obrazu. Promítací plocha se pro lepší stimulaci zrakového vněmu umísťuje do vzdálenosti okolo 1,5–5ti metrů. Pro vyšší kontrast a celkově větší kvalitu obrazu jsou doporučena co nejtemnější prostředí simulátoru. Úhel zorného pole simulátoru je variabilní a záleží na velikosti a zakřivení projekční plochy a tudíž i na počtu projektorů. Všeobecně platí, že čím větší úhel zorného pole, tím větší úroveň věrnosti. Projektory bývají většinou umístěny nad kokpitem simulátoru, nebo zejména u zadní projekce v dolní části. Při stavbě či návrhu takového systému je potřeba dopředu znát prostory kde bude simulátor umístěn a to z důvodu relativně velké zástavby celého systému.

Projektory (viz kapitola 5.2 Projektory)

Nejčastěji se zobrazovacích systému přímé projekce používá projektorů s technologií DLP, protože poskytují vysoký kontrast. Pro usnadnění seřizování projektorů jsou obvykle vybaveny funkcí ZOOM. Velký důraz je kladen taky na jejich hlučnost, protože může mít záporný vliv na úroveň virtuální reality či může vyrušovat cvičenou posádku.

Projekční vzdálenost

Tato vzdálenost hraje velice důležitou roli při sestavě zobrazovacího systému s přímou projekcí a velice úzce souvisí s velikostí prostorů, kde bude umístěn. Současná nabídka projektorů nám dává možnost si vybrat mezi modely určenými k projekci na vzdálenosti přesahující několik desítek metrů, ale stejně tak není problém najít i modely, které zvládají zobrazit velmi velkou plochu i z dvou metrů. Správný výběr vhodné projekční vzdálenosti může značně ovlivnit celkový dojem z výsledného obrazu. Projekční vzdálenost lze vypočítat dle projekčního kalkulátoru, jako vstupy do něj zavádíme model projektoru, rozměr promítaného obrazu, poměr stran, zoom, světelnost obrazovost atd.

Projekční plocha

Projekční plocha je světlá homogenní plocha, která je určena pro promítání obrazu z projektorů. Plocha má bílou či šedou barvu výhradně k tomu, aby zamezila jakýmkoliv barevným posunům a odlišnostem v obrazu. Jak už jsem se zmínil, projekce může být přední či zadní a rozdíl mezi nimi je jen ve směru projekce a typu projekční plochy. Zatímco u přímé projekce zepředu musí plátno odrazit co nejvíce světla zpět k divákovi, u zpětné projekce musí plátno přenést co nejvíce světla skrz. Projekční plocha může mít různé tvary. Nejideálnější je sférická zakřivená plocha, ale používají se i rovinné plochy. Dnešní projekční plochy dominují perfektní geometrií, jsou vyrobeny z kompozitních materiálů, málo kde se už používá klasické plátno. Plocha může být sestavena z několika částí(čtverců), které se dají šroubovat do celků a tak zvětšovat zorné pole. Součástí projekční plochy je i nejčastěji ocelová podstava, která zajišťuje odolnosti vůči pohybům.

Jas a Kontrast projekčních ploch

Tyto veličiny jsou z velké části ovlivněny především hodnotou zbytkového světla v místnosti, parametry (svítivosti) projektoru a velikostí promítané plochy, avšak je možné je ovlivnit i typem projekční plochy. Současný trh nabízí mnoho různých povrchových úprav projekčních ploch, které podle hladiny reflexní vrstvy dokážou valnou většinu světla, které na ní dopadá, opět odrazit k posádce. Může se jednat buď o nasazení speciálních tkanin, které svou strukturou zamezují pohlcování světla, nebo se může jednat o potáhnutí celé plochy reflexním materiálem s vhodnou strukturou. Je ovšem třeba počítat s tím, že čím více světla daná plocha dokáže odrazit (je více reflexní), tím menší jsou pak na něm pozorovací úhly - světlo dopadající na plátno je odráženo výhradně směrem k pozorovateli (logicky sedí přímo proti plátnu, kde jsou zajištěny nejlepší obrazové vlastnosti) a do bočních stran již není možné odrazit světlo s postačující intenzitou. Navíc opravdu velmi

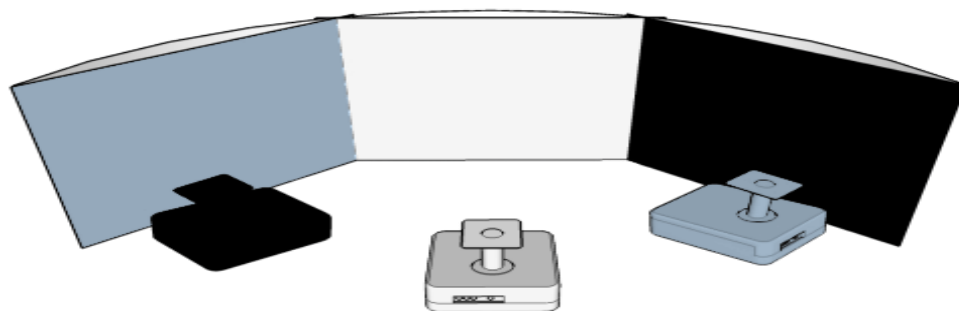
reflexní plátna trpí jevem nazvaným "hot spot" (žhavé místo) na kterém se uživateli zdá obraz jasnější, než v jiných bodech. To je dáno právě vysokou hodnotou odraženého světla, kdy pouze několik míst na plátně odráží světlo přímo do oka pozorovatele - právě daný bod je pak označován jako "hot spot". Pro zvýšení kvality černé promítané barvy se používají šedé (tmavé) projekční plochy, které odrazí zpět méně světla, než světlé varianty. Odražené světlo se totiž neskládá jen ze světla, které přichází z projektoru, ale plocha musí odrazit i všechno okolní světlo v místnosti. Šedá plocha bude tedy odrážet černou barvu tmavější a bílou přirozeně také, ale většina dnešních projektorů nemá s nedostatkem jasu na bílých místech problémy, zatímco černá místa působí spíše tmavě šedě. Díky tmavší ploše lze tedy dosáhnout opravdu velmi černé a realistické barvy, zatímco rozdíl na bílé barvě je nepozorovatelný. Důležité ale je, aby u těchto pláten byla zachována co největší tma v promítací místnosti.

Zakřivená projekční plocha

Hlavní výhoda těchto zakřivených projekčních ploch oproti těm plochým spočívá v tom, že se stejnou jejich velikostí nám zakřivená plocha poskytne větší úhel zorného pole díky tomu, že se konce plochy neoddalují od pozorovatele ba naopak. Zakřivené plochy tak zvyšují úroveň virtuální reality a ponoření se do simulace. Obecně je pro dobrou úroveň reality vhodné aby posádka viděla pouze promítaný (pohyblivý) obraz a ne statické okolí projekční plochy. Pro použití větších širokoúhlých ploch či těch zakřivených je však nutné také zvýšit počet promítacích projektorů (kanálů).

Vícekanálová projekce

Jak už jsem poznamenal pro větší zorný úhel je za potřebí vícekanálové uspořádání. Většinou se používá 3 až 8 projektorů. Skládání obrazu pro kontinuální, plynulý, bezešvý obraz po celé projekční ploše je velice složitá záležitost. Je potřeba perfektně sladit jednotlivé obrazy dodávané projektory v jeden celkový obraz. Největší pozornost je věnovaná seřízení překrytí jednotlivých kanálů, jejich návaznosti a celkové geometrii.



Obr. 5.8 Tří-kanálová projekce

Překrytí (Overlap)

Okraje promítaných obrazů se díky zakřivení projekční plochy překrývají tak aby byl výsledný obraz plně plynulý. Velikost překrývajících se okrajů se vypočítává podle daného rozlišení (např. SXGA = 1280 * 0.125 = 160 pixel při 12,5% překrytí). Tato úprava se realizuje jak pomocí hardware tak především software. Při překrytí okrajů obrazů ale dochází k nevhodnému jevu a to k jejich dvojnásobnému přesvětlení (double brightness). Je to dáno tím, že tyto překrývající se okraje jsou složeny obrazy z více projektorů. Proto se u okrajů obrazů softwarově snižuje jas.



Obr. 5.9 Překrytí u troj-kanálové projekce

Návaznost kanálů

Technologie „Edge Blending“ se stará o to, aby jednotlivé již překrývající se obrazy na ploše byli dobře a vhodně sladěny s ostatními, protože i když například používáme stejný model projektorů, mají odlišnou charakteristiku. Například při delším používání (zahřátí projektorů) se mění jas či barevná hloubka obrazu.

5.3.1 Zapojení vícekanálového uspořádání

Obecně se pro jednotlivé zobrazovací systémy (kolimátorové, přímo projekční, přímé zobrazení) používá stejných metod zapojení vícekanálového uspořádání. Podle počtu použitých výpočetních jednotek je rozdělujeme na:

- **Jedna výpočetní jednotka pro všechny kanály**

U této metody se používá zařízení, které se k výpočetní jednotce připojí přes jeho grafickou kartu a její signál rozdělí na více signálů. Tváří se většinou jako vysoce širokoúhlý monitor a jeho obraz se pak rozděluje na jednotlivé monitory (projektory). Nebo můžeme využít více grafických karet připojených k jedné výpočetní jednotce. Například pro zobrazení PFD a ND displejů, které jsou jak pro kapitána, tak i pro druhého pilota totožné, se používá klasického rozbočovače videosignálu.

- **Jedna výpočetní jednotka pro jeden kanál**

Zde využívá každý monitor (projektor) jednu výpočetní jednotku a ty jsou s ostatními propojeny buď LAN sítí či bezdrátovou technologií WiFi.

Výhody

- ✓ Poskytuje velký úhel zorného pole
- ✓ Přijatelná úroveň virtuální reality
- ✓ Ekonomicky méně náročné

Nevýhody

- ✗ Nutné zatmění prostorů simulátoru
- ✗ Náročné sladění jednotlivých kanálů
- ✗ Ohřívání prostorů projektory

5.4 Přímé zobrazení

5.4.1 Přímé zobrazení (bez kolimace)

Přímé zobrazení je složeno většinou z určitého počtu obrazovek, které jsou umístěny ve vzdálenosti okolo jednoho metru od posádky simulátoru. Ačkoliv jsou náklady na jednotlivé obrazovky poměrně vyšší než třeba u systému přímé projekce, je snadnější je sladit do vícekanalového zobrazení a nejsou tak náchylné na okolní světlo. Naopak nám ale díky jejich rámcům neposkytují žádaný, kontinuální obraz, což snižuje jejich úroveň virtuální reality. Další nevýhodou je také zaostření pilota na povrch obrazovky. V dnešní době se používají tři základní typy obrazovek a to LCD, PDP, LED. Jejich úhlopříčka obvykle přesahuje 90cm a rozmísťují se kolem kabiny do prostoru oken kokpitu.



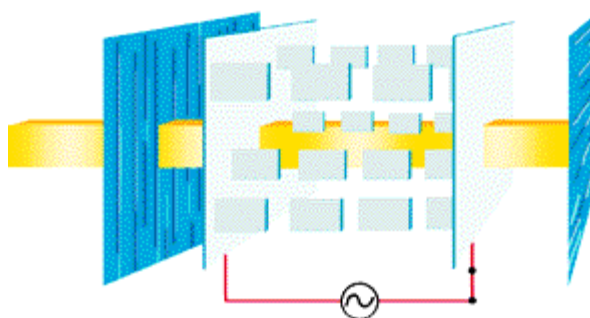
Obr. 5.10 Vizualizace pomocí Plazmových obrazovek

Technologie LCD

Dalo by se říci že LCD je již starší technologie a nyní dosahuje svojí technologické špice, již tedy nelze očekávat nějaký razantní vývoj.

Základní princip LCD je ten, že v obrazovce jsou podsvětlovací trubice a ty jsou stále zapnuté. A protože světlo je vyzařováno relativně malým povrchem, je třeba ho rozvést tak, aby osvětlovalo celou plochu televize co nejvíce rovnoměrně. K tomu slouží různé difúzní a odrazivé vrstvy. Na kvalitě těchto vrstev závisí i kvalita celkového podsvícení. Toto světlo proudí skrz polarizační desku, kde získává jednu ze tří základních barev (červená, zelená či modrá). Poté putuje již do samotného tekutého krystalu (odtud název LCD - Liquid Crystal Display), který se může vlivem napětí udržovat v několika stavech.

První je stav, kdy nepropouští světlo. Druhý mezistav je ten, kdy propouští světlo jen částečně. Množství propuštěného světla je řízeno elektronikou a obvykle má 256 úrovní. Dnešní obrazovky však mají například i 1024 úrovní. Poslední je stav, kdy je světlo propuštěno zcela úplně.



Obr. 5.11 Princip LCD obrazovek

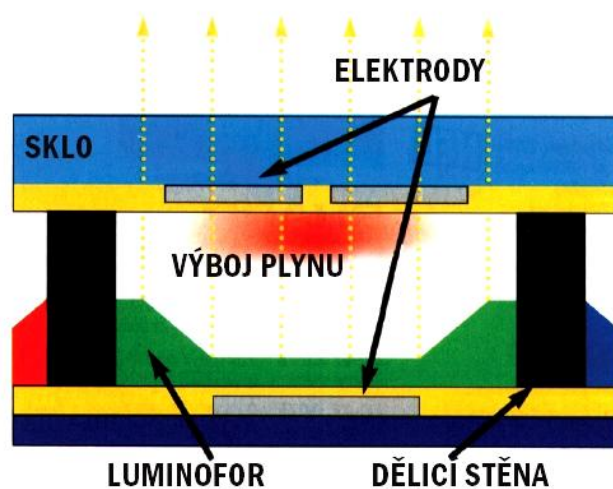
Základní technologie výroby LCD:

LCD obrazovky se vyrábí třemi základními technologiemi:

- **TN(BTN, TN+Film)** – nízký počet barev, malé pozorovací úhly
- **xVA (MVA, PVA, S-PVA)** – lepší pozorovací úhly, kvalitní černá barva, lepší kontrast
- **IPS (S-IPS,AS-IPS)** – nejvěrnější barvy dneška, velké pozorovací úhly, nižší kontrast

Technologie PDP (Plazma)

Tato technologie nepotřebuje ke své funkci žádné podsvícení. Pixely svítí samy o sobě, a tak zde nehrozí ne-homogenita podsvícení nebo nízký kontrast. Každá buňka obsahuje v klidovém stavu směs plynu (argon, xenon, neon). Pokud je do těchto plynů přiveden elektrický náboj, změní se jejich skupenství na plazmu. Plyn vystaven elektrickému náboji totiž začne ztrácet elektrony, vznikají kladně nabitě ionty a tím tedy vznikne právě plazma. Uvolněné částice se pohybují ke svým opačně nabitým protějškům a cestou se často srazí s další částicí, tím dochází k emitování fotonu (světlo).



Obr. 5.12 Princip PDP

Avšak emitované fotony mají příliš krátkou vlnovou délku a jde obvykle o ultrafialové světlo, které lidské oko nevidí. Toto světlo v buňce dopadá na luminofor, který po absorbování "převěd" světlo do jiné vlnové délky a v našem případě do oblasti viditelného světla. A protože se jedná o klasický RGB model, jsou vedle sebe vždy tři buňky s různým luminoforem. Tyto tři buňky (červená, zelená a modrá) dávají dohromady jeden viditelný bod na obrazovce. Tedy naprosto stejné jako v případě LCD.

Odezva, tedy emise světla probíhá velmi rychle, v podstatě zde není žádná prodleva. Je natolik krátká, že ji prakticky lidské oko nemůže ani zachytit. Krátkou odezvou se nejen zlepšuje plynulost pohybu, ale také kontrast pohyblivých scén. Celkově se tedy plazma zdá daleko přívětivější technologie než LCD. Ale aby to nebylo tak jednoduché, jsou zde některé omezující vlastnosti. Například velikost jedné buňky (sub-pixelu) nelze zmenšovat do nekonečna a dnes se pohybuje kolem 0,3 mm. Takže nelze vyrobit malý displej s vysokým rozlišením. Také je zde jedna nepříjemná vlastnost v podobě stárnutí resp. vypalování obrazu do obrazovky.

Technologie LED

LED obrazovky pracují na stejném principu jako LCD s tím rozdílem že k podsvícení používá místo trubic velkého množství LED diod a optických prvků. Díky tomuto způsobu je světlo rozloženo rovnoměrněji a efektivněji než u LCD obrazovek a tím se výrazně zkvalitňuje obraz. Diody také výrazně snižují spotřebu LED obrazovek. Díky LED podsvícení tyto obrazovky nabízejí vysoký jas a kontrast, rychlejší odezvu, a to při velmi nízké spotřebě elektrické energie a dlouhé životnosti. Za nedostatek se dá pak považovat podání černé barvy, ale i přesto je obraz kvalitní.



Obr. 5.13 Desktop simulátor s LED obrazovkou a multifunkčními panely

LCD vs. PDP

U PDP obrazovek se říká, že mají daleko živější obraz. Znamená to, že krycí vrstva je skleněná, zatímco u LCD je plastová a obvykle matná. To však není vůbec nevhodné a naopak je plast praktičtější a to hned z několika důvodů. Není tak lesklý, a tak lze na obraz sledovat i v nezatměných prostředích, aniž by posádka obtěžovaly odlesky. Obrazovka je daleko lehčí a nehrozí poškození při položení obrazem domů. Naopak plast má některé nevýhody. Hůře se udržuje, je třeba používat speciální přípravky na čištění, zatímco klasické sklo lze utřít i vlhkým hadříkem.

	PDP	LCD
Kontrast	kolem 1 000 000:1	kolem 1 500:1 (statický)
Pozorovací úhly	barevně neomezené, ale dochází ke ztrátě detailů	podle použité technologie, dnes až 178° v obou směrech, ale stále dochází ke snižování kontrastu a degradaci barev
Počet barev	až 18 bit	8 až 12 bit
Odezva	pod 0,1 ms	reálně od 3 do 20 ms
Spotřeba	až 2x spotřeby LCD	-
Životnost	až 100 000 hod (stále zde hrozí nevratné "vypalování" obrazu po daleko kratší době)	až 100 000 hod

Tab. 5.1 Porovnání LCD a PDP technologií

Obecně jsou PDP obrazovky vhodné pro dynamičtější obraz. U LCD totiž dochází díky delší odezvě než u PDP k rozmazání obrazu při jeho rychlé změně. Co se týče ekonomie provozu, tak je výhodnější LCD technologie. Při stejné úhlopříčce může mít až poloviční spotřebu. U LCD obrazovky se také lépe reguluje jas, který se sníží intenzitou podsvětlení. U simulátorů se většinou používá LCD TFT display.

Výhodou je i vyšší světelnost než u projekce. Doporučená světelnost v simulátorech je 300 cd/m^2 . Nevýhodou přímého zobrazení je malá vzdálenost zobrazovací plochy od očí pilota.

Pokud je totiž vzdálenost menší než 1 m, oči pilota jsou zaostřeny na tuto vzdálenost, což může významně ovlivnit vnímání vzdáleností a celkovou úroveň virtuální reality.

Výhody

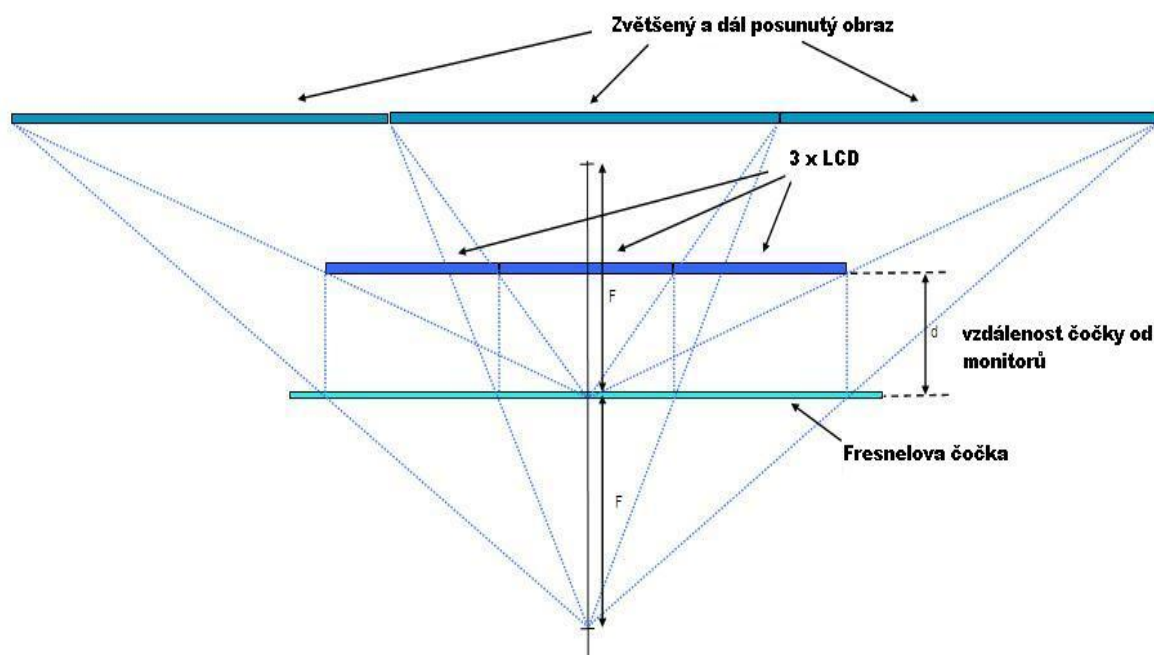
- ✓ Větší kontrast a jas než u projekce
- ✓ Jednoduché sledění více kanálů

Nevýhody

- ✗ Malá vzdálenost obrazu od očí pilota = zaostření
- ✗ Pozorovací úhly
- ✗ Ekonomicky méně výhodné
- ✗ Neposkytuje kontinuální obraz

5.4.2 Přímé zobrazení s kolimací

Jako řešení problému se zaostřením očí pilota na krátkou vzdálenost u přímého zobrazení se nabízí možnost vsazení kolimační čočky mezi oči pilota a monitor, což zajistí vytváření (zaostření) obrazu v optickém nekonečnu. Vzhledem k omezeným prostorovým možnostem je nejvhodnější použití tzv. Fresnelovy čočky. Fresnelova čočka má při podobných parametrech a stejném použitém materiálu podstatně menší hmotnost než běžná čočka, protože jsou z ní odstraněny ty části, které se nepodílejí na lomu světla. Fresnelova čočka posune obraz do optického nekonečna. Výroba předsádky včetně Fresnelovy čočky není v dnešní době finančně nijak náročná.



Obr. 5.14 Princip přímého zobrazení s kolimací

Vícekanálové uspořádání (viz kapitola 4.3.1. Zapojení vícekanálového spořádání)



Obr. 5.15 Přímé zobrazení s jednou výpočetní jednotkou a třemi monitory, softwarové sladění obrazu

Při skládání celkového obrazu z více monitorů je důležité, aby byl dobře softwarově sladěn a vhodně navazoval.

6. VNITŘNÍ VIZUALIZACE (INSIDE VIEW)

Jako vnitřní vizualizaci simulátoru můžeme označit, vyobrazení jednotlivých přístrojů v jeho kokpitu. U FFS simulátorů, které slouží také k typovému výcviku daného letounu, vypadá jeho vnitřní vybavení totožně s vybavením jeho skutečného typu. Jsou u nich použity reálné přístroje s modifikací vstupní veličiny. Například místo tlaku jsou řízeny elektrickým signálem. Uvnitř „budíků“ jsou tedy místo tlakoměrných krabic a převodů servomotory. Přístroje jsou spojeny s výpočetními jednotkami simulátoru přes řadu interferenčních I/O karet. V současné době používané „glass kokpity“ také najdeme v simulátorech. Jejich realizace je o mnoho snadnější než u analogových přístrojů. Jsou to obyčejné LCD displeje, které se často kvůli lepší věrohodnosti doplňují maskami přístrojové desky.

Přemaskované LCD displeje nalezneme ale i u zobrazování klasických „budíků“, které jsou ztvárněny počítačovou grafikou. Přístroje jsou softwarově rozmístěny na LCD tak, aby se kryly s otvory přístrojové desky určitého typu letounu. Některé přístroje nebo ukazatele mají své ovládací prvky. Přístroje, letové a navigační obrazovky se dají ovládat dotykem při použití dotykové obrazovky nebo externími ovladači. To jsou většinou mikropínače, otočné přepínače a další elektronické prvky. V dnešní době se vyskytují kompletní přístrojové moduly např. autopilota či radio-panelu s připojením k PC pomocí klasického USB rozhraní. Mezi vnitřní zobrazovací zařízení poté také patří malé LCD displeje právě těchto panelů.



Obr. 6.1 Přemaskovaný LCD monitor v přístrojový panel Cessny s příslušenstvím

7. ÚROVEŇ VIRTUÁLNÍ REALITY

Jak jsem již na začátku této práce podotkl, letecké simulátory slouží k simulaci skutečného letadla či jeho letu. To, jakou certifikací je daný simulátor osvědčen, záleží na tom, jak je vybaven a jak dokonale dokáže napodobit skutečný letoun nebo jeho let. Jako důležité prvky ovlivňující úroveň virtuální reality bych označil:

Kompletní izolace kokpitu simulátoru od okolního prostředí

Odstraněním rušivých jevů, kompletním uzavřením celého kokpitu (hluková, světelná izolace), nemalým množstvím přispějeme ke zvýšení úrovně virtuální reality a celkovému lepšímu ponoření se do simulace. Například by bylo zcela nevhodné, aby pilot za letu v simulátoru slyšel zvuk zahradní sekačky před budovou atd.

Rozdělení obrazů, vizualizace na „inner“ a outer“

Vyšší úroveň virtuální reality simulátoru dosáhneme hlavně tím, že jej rozdělíme na plně uzavřený kokpit a vnější zobrazovací systém. Pocit že se pilot dívá „ven z okna“ nebo poté dovnitř jen na samotné přístroje před sebou, je u nejreálnějších simulátorů nepostradatelný. Toto uspořádání odpovídá plně realitě, protože nutí pilota měnit zaostření očí podle toho, zda sleduje přístrojovou desku nebo okolí.

Vizualizace

Celková kvalita celého zobrazovacího systému je snad nejdůležitějším prvkem úrovně virtuální reality simulátoru. Od zpracovanosti obrazového generátoru, velikosti zorného pole po plynulost širokoúhlého, kontinuálního obrazu. Velice nevhodné jsou viditelné vnější statické předměty, stěny atd., které snižují úroveň virtuální reality.

Hydraulická platforma

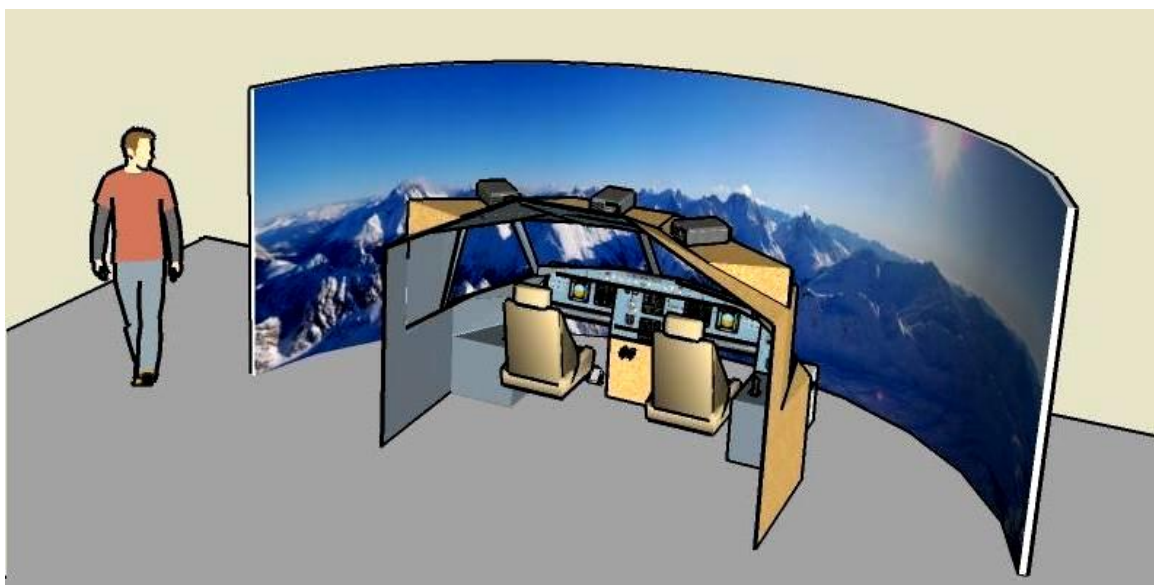
Tyto systémy slouží k imitaci pohybů a zrychlení simulátoru. Často se označuje jako „Full Motion“, protože věrně simuluje veškeré pohyby letadla. Dřívější hydraulické pístnice nahradily elektromagnetické aktuátory. V této době se nejčastěji používá hexapod o 6 stupních volnosti tak, že je letoun schopen pohybu ve všech osách. Simulace pohybových vjemů přibližuje simulátor více k realitě. Tato část bývá v aplikacích často opomíjena, a to z důvodu relativně vysokých nákladů při ne zcela prokazatelném přínosu ve výcviku pilota.

8. NÁVRH ŘEŠENÍ VIZUALIZAČNÍHO SYSTÉMU

Zadané podmínky pro návrh vizualizačního systému na bázi PC technologií pro Ústav letecké dopravy Ostrava mi umožnily téměř neomezené prostory pro jeho realizaci. Jsme tedy schopni realizovat všechny možné dříve popsané metody zobrazení. Jediné, ale také zásadní omezení se týká finanční náročnosti celého systému. Každý typ má své výhody a nevýhody a jednotlivé typy se rovněž liší ve své ceně. Proto je logické, že hned na počátku je nutné vyškrtnout oba kolimátorové zobrazovací systémy, jejichž cena je až astronomicky vysoká. V úvahu tedy připadají dva zbylé systémy, a to systém přímé projekce zobrazující pomocí projektoru nebo pomocí obrazovky.

Kompletním studiem obou možných zobrazovacích systémů, jejich výhod a nevýhod jsem se rozhodl pro vizualizační systém:

Přímo-projekční systém se třemi projektory, jednou výpočetní jednotkou a válcovitou projekční plochou.



Obr. 8.1 Návrh Vizualizačního systému simulátoru

Mé rozhodnutí jsem diskutoval s řadou odborníků, kteří se simulátory pracují nejen v ČR ale i po celém světě. Měl jsem i tu možnost si jednotlivé systémy v reálu prohlédnout a prakticky si je vyzkoušet.

Při návrhu jsem na systém kladl kritéria, které jsem se snažil splnit:

- Poměrně velký zorný úhel výhledu pilota z kokpitu ($180^{\circ}\text{H} \times 50^{\circ}\text{V}$) plně-uzavřený kokpit),
- Vytvořit celkově kvalitní, moderní zobrazovací systém, avšak za přijatelné ceny.

Jako hlavní důvody pro toto rozhodnutí bych uvedl následující:

- poskytuje vysoce širokoúhlý, kontinuální obraz,
- velký zorný úhel (vertikální, horizontální),
- prezentovaný obraz je velice dobře sladěný čímž zvyšuje úroveň virtuální reality,
- dokáže částečně nahradit pohyblivou základnu (avšak ne v plné míře),
- i při těchto výhodách je ekonomicky na stejné úrovni ne-li výhodnější než u systémů přímého zobrazení obrazovek.

Obrazový generátor

Pro tento návrh vizualizačního systému jsem zvolil obrazový generátor Microsoft Flight Simulator X z těchto důvodů:

- kvalitní grafické zpracování,
- vynikající simulaci avionických a přístrojových systémů,
- nejvhodnější pro nácvik letových, navigačních a provozních postupů, kompletní IFR,
- možnost rozšíření pomocí nespočtu doplňků,
- v kombinaci s více add-ony (doplňky) je na trhu zatím nepřekonatelný,
- osobní dlouholeté zkušenosti s tímto softwarem,
- nastavení téměř jakýchkoliv meteorologických podmínek (směr, stříh větru,...).



Obr.8.2 Microsoft Flight Simulator X + REX 2

Oproti X-Plane na mě systémové prostředí a rozhraní Microsoft Flight Simulatoru působí více přátelsky a snadněji se u něj konfiguruje různé vlastnosti. Viz kapitoly 3.1 až 3.2.

Výpočetní jednotka

Je potřeba si uvědomit, že generátor obrazu vyžaduje pro maximálně plynulou animaci a vysoký počet detailů velmi výkonnou výpočetní jednotku. Hardwarové nároky obrazového generátoru není možné srovnávat ani s nároky, jež vyžaduje byť i ta nejlepší akční 3D hra na současném trhu. Obrazový generátor vypočítává v reálném čase mnohem více informací (reálná databáze Jeppesen, autentické grafické prostředí, detailní topografická situace na zemi, letištní/letový provoz, matematicko-fyzikální model letounu, reálné počasí z relace METAR, denní doba, apod.). Je tedy zapotřebí předně investovat do výkonného počítače.

Výpočetní jednotka by měla obsahovat nejlépe čtyř-jádrový procesor, nejmodernější grafické karty s pamětí přesahující 1024Mb podporující technologii SLI(spojení více karet dohromady = větší výkon), rozšiřitelnou výkonnou základní desku s podporou PCI-E,DD3 a vhodným socketem pro procesor. Minimální hodnota operační paměti by neměla být menší než 10Gb, nejlépe 2 x 8Gb pro větší rychlost, protože paměti pracují v duálním kanálu. Takto výkonnou sestavu je nutno umístit do počítačové skříně s dostatečně výkonným el. zdrojem (min. 750W) a dobrým prouděním vzduchu. Celou sestavu je nutné chladit, nejlépe vodním chlazením.

Díky marketingové spolupráci Microsoftu s Nvidia a Intel je Microsoft Flight Simulator X lépe optimalizován právě pro produkty jmenovaných společností. Díky problémům (zpoždění,...), které se vyskytují u vícekanálového uspořádání, tedy spojení více počítačů dohromady např. přes LAN síť, jsem se nakonec rozhodl pro navržení jedné vysoce výkonné výpočetní jednotky na místo dvou méně výkonných.

Příklad vysoce výkonné výpočetní jednotky s orientačními cenami:

Komponent	Typ	Cena cca.
Procesor	INTEL Core i7-960 Quad-Core	11 200 Kč
Základní deska	ASUS P6T7 WS SuperComputer	8 700 Kč
Grafická karta	2x ASUS ENGTX480/2DI/1536MD5	21 600 Kč
Operační paměť	2x KINGSTON 8GB KIT DDR3 1333MHz CL9+chladič	15 000 Kč
Pevný disk	2x WESTERN DIGITAL Caviar Green 1000GB 64MB	3 400 Kč
DVD-RW	LG GH22NS	500 Kč
Chlazení	Systém vodního chlazení ZALMAN Reserator 1 ver.2	4 800 Kč
Skříň (zdroj)	AOpen server case H800A, 2x 600W	3 100 Kč

Tab 8.1 Příklad výkonné výpočetní jednotky

Ceny na současném trhu jsou velice pohyblivé, proto jsou označeny jako orientační. Cena této extrémně výkonné výpočetní jednotky se pohybuje okolo **90ti až 100 tisíci Kč** s daní.

Software

Softwarová výbava výpočetní jednotky je spjata s její hardwarovou vybaveností a možností jejího 100%ho využití. Jednotlivé softwary musí být mezi sebou plně kompatibilní a bezkonfliktní.

Příkladné softwarové vybavení této výpočetní jednotky s orientačními cenami:

Druh	Typ	Cena cca.
Operační systém	Microsoft Windows Vista Ultimate 64bit	6 000 Kč
Obrazový generátor	Microsoft Flight Simulator X	1 500 Kč
Grafický doplněk	ActiveSky 6	1 000 Kč
Grafický doplněk	Real Enviroment Extreme 2 – REX 2	1 500 Kč
Vícekanálové sladění	NTHUSIM	10 000 Kč
DVD-RW	Model letadla	1 000 Kč
Vnitřní vizualizace	FSXPAND	1 500 Kč
Cena	Přibližná celková cena s daní	22 500 Kč

Tab 8.2 Softwarové vybavení výpočetní jednotky

Vizualizace

Výpočetní jednotka nám poskytne celkem 4 grafické výstupy (4x DVI). Pro vyobrazení venkovního obrazu použijeme jen jeden DVI výstup, na který pomocí TripleHead2Go připojíme tři projektory. Zbylé 3 výstupy slouží pro vnitřní vizualizaci či pro stanoviště instruktora. Různé varianty rozdělení grafických výstupu viz Příloha A, B.

Triple Head 2 Go

TH2Go je video-hardware, který dokáže z jednoho VGA či DVI (analogového nebo digitálního) vstupu udělat tři výstupy v režimu TripleHead, což znamená, že každý z projektorů bude zobrazovat jinou třetinu pracovní plochy. Princip tohoto zařízení je ten, že se TH2Go k připojené grafické kartě hlásí jako ultrawide monitor s výše uvedenými rozlišeními. TH2Go přijme signál pro UW monitor, ten zpracuje a rozdělí na tři třetiny pro každý projektor. Na výstupech se provede převod zpět do požadovaného formátu, aby nedošlo k jeho degradaci.

Projektory

Speciálně pro aplikace simulačních systémů jsou určeny projektory typu ShortThrow(ST). Typ těchto projektorů dokáže z relativně malé projekční vzdálenosti zobrazit velký, širokoúhlý obraz. Díky krátké projekční vzdálenosti také zlepšují celkovou kvalitu obrazu, jeho kontrast, podání černé barvy atd. Z široké nabídky data-projektorů, které nám trh nabízí, navrhuji dle poměru cena vs. výkon projektor **ACER S5200 ST**.



Obr. 8.3 Projektor ACER S5200 ST

Projektor využívá technologii DLP a je schopný projekce už od 0,5 metru od projekční plochy a poskytne při této vzdálenosti úhlopříčku obrazu přes 1 metr. Projekce na velmi krátkou vzdálenost zvyšuje flexibilitu a zaručuje vyšší pohodlí bez zhoršení kvality obrazu. Projektor má poměrně vysoký světelný tok 3000 ANSI lumenů, kontrastní poměr 2500:1 a nativní rozlišením XGA (1024 x 768) pro ostré podání detailů. Tento projektor má také dvojici reproduktorů poskytující dohromady 10 W. Má řadu vstupů a výstupů například RCA, Mini DIN, HDMI, RJ-45, RS232, RJ-45.

Díky jeho krátké projekční vzdálenosti při zachování velké diagonální velikosti obrazu není problém s pokrytím projekční plochy, v konfiguraci se třemi projektory, zakřivenou projekční plochu o poloměru až 4m poskytující cca 150° výhled ze simulátoru.

Projektor používá také rozlišení WSXGA+ (1,680 x 1,050), které je přímo vhodné pro TripleHead2Go. Jeho cena se pohybuje kolem **18 000 Kč** s daní.

Technické údaje ACER S5200:

Projekční plocha:

102 cm až 762cm

Projekční vzdálenost:

0,5 až 3,7 m

Ohnisková vzdálenost:

161" ve 2m nebo 81"v 1m (0.61:1)

Digitální zoom:

2X

Formát zobrazení:

4:3 (nativní), 16:9

Barvy:

134 miliónů barev

Jas:

3000 ANSI Lumenů

Kontrast:

2500:1

Hlučnost:

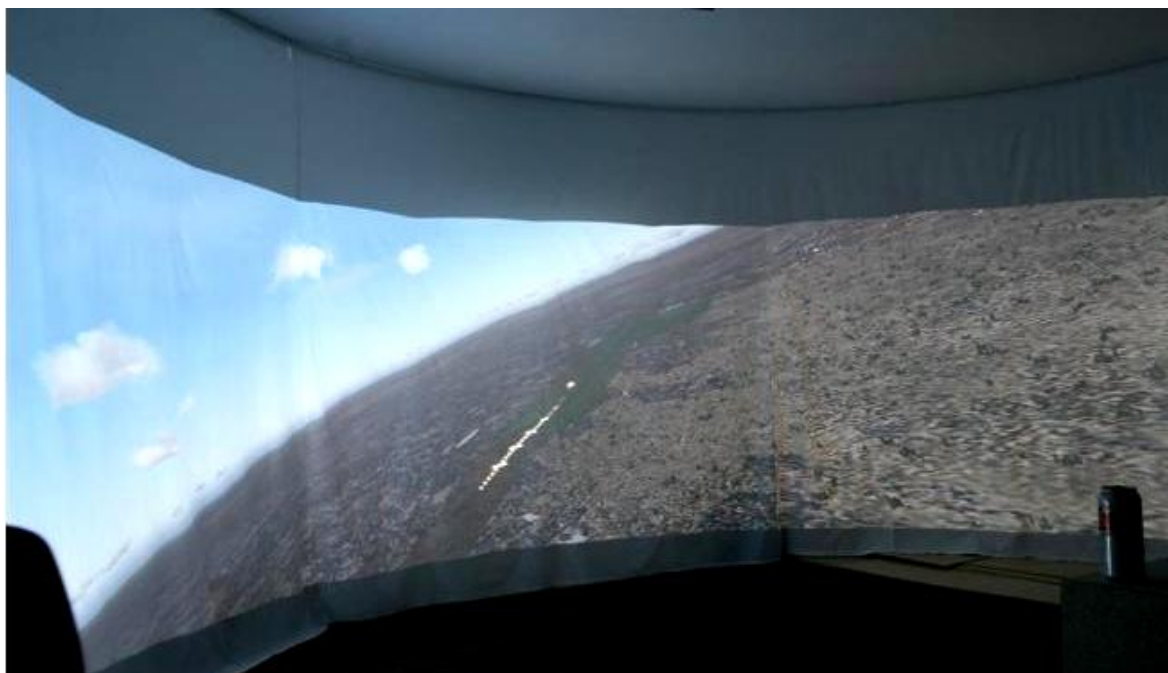
33 dB

Spotřeba:

Průměrná: 315W

Projekční plocha

Pro tento vizualizační systém jsem zvolil válcovitou projekční plochu, díky jejím výborným vlastnostem z hlediska velkého úhlu výhledu ze simulátoru a tím i k větší úrovni virtuální reality. Komerční trh nám nabízí poměrně dost produktů v této kategorii, ale osobně si myslím, že je ekonomicky vhodnější si projekční plochu vyrobit v rámci vlastního návrhu. Na internetu je mnoho návodů, rad a tipů pro výrobu válcovité projekční plochy. Jako materiál bych zvolil laminát či umělou hmotu. Povrch je vhodné natřít speciálním nátěrem pro projekční plochy. Osobně bych zvolil šedou barvu nátěru pro lepší kontrast obrazu.



Obr.8.4 Válcovitá projekční plocha

Rozměry mnou navržené projekční plochy jsou :

Poloměr : 3m

Úhel: 180°

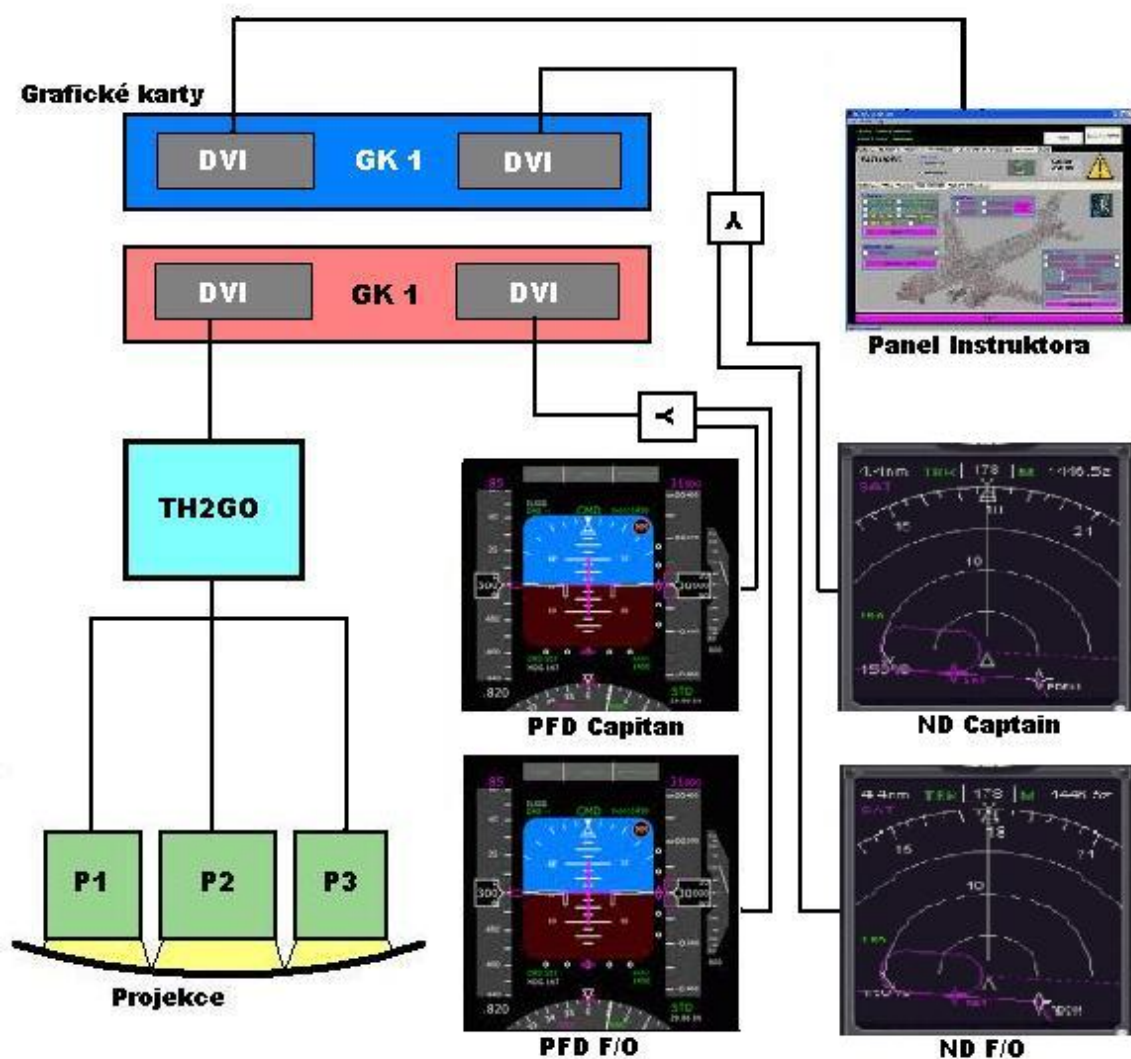
Výška : 2,25m

Projekční vzdálenost

Výpočty všech rozměrů projekční plochy, projekčních vzdáleností a rozmístění veškerých prvků je velice náročné a mnohdy se při samotné realizaci několikrát mění. Hlavním parametrem je samotný kokpit simulátoru, rozměry a rozmístění jeho oken, pozice hlavy pilota a například zobrazovaný poměr stran (16:9, 4:3). Návrh projekčních vzdáleností viz Přílohy C, D.

Vyobrazení přístrojů

Zbylé tři výstupy grafických karet lze obsadit tak, že na DVI výstupy připojíme stejný počet LCD monitorů, které budou sloužit pro zobrazení letových, navigačních, motorových či drakových přístrojů letadla. Poslední DVI výstup je možno použít pro připojení dalšího TH2Go, a tak ještě zobrazení letových přístrojů rozšířit nebo k němu připojit dotykový monitor pro stanoviště instruktora. Pro dvoučlennou posádku pak všechny výstupy rozdvojíme pomocí video-rozbočovače.



Obr. 8.5 Jedno z navrhovaných uspořádání

Celková cena vizualizačního

Celková cena tohoto vizualizačního zařízení by se měla pohybovat mezi 170ti až 200 tisíci Kč.

SPLNĚNÍ STANOVENÝCH CÍLŮ

Cíl: Analyzovat současnou úroveň vizualizačního vybavení leteckých simulátorů a dle průzkumu stanovit možná řešení vizualizačního systému leteckého simulátoru na bázi současných PC technologií

Plnění: Analýza současné úrovně vizualizačního vybavení leteckých simulátorů byla provedena v kapitole 2., ve které jsou popsány požadavky na tyto zařízení, jejich certifikaci, význam a jejich následně specifické či všeobecné použití. Současné metody nebo druhy vizualizačních systémů leteckých simulátorů na bázi PC technologií v současných, reálných podmínkách, jsou uvedeny v kapitolách 5. a 6. U jednotlivých způsobů je vysvětlen princip, technologie, výhody a nevýhody dané metody.

Cíl: Návrh řešení vizualizačního systému PC - leteckého simulátoru pro potřeby ÚLD

Plnění: V závěru práce (kapitola 8) je teoretický návrh možného řešení vizualizačního systému PC - leteckého simulátoru pro potřeby ÚLD. Vzhledem k ekonomické náročnosti celého systému nebylo možné tento návrh prakticky testovat v plné jeho míře.

9. ZÁVĚR

V bakalářské práci zabývající se především vizualizací PC leteckých simulátorů je podrobně popsána jejich historie, význam, využití a certifikace. V dnešní době díky velkému technickému a technologickému vývoji v oblasti výpočetní techniky není divu, že jsou právě simulátory na bázi PC technologií vedle profesionálních komerčních letových simulátorů konkurencí schopnými hráči. Výhoda těchto simulátorů je, že jsou velice mobilní a jsou stále více využívány reálnými piloty pro kondiční trénink, nácviku různých postupů, objasnění určité situace či v neposlední řadě k přípravě na jednu z mnoha zkoušek. Díky snaze snížit náklady na výcvik provozuje řada leteckých výcvikových organizací právě tyto letecké simulátory na bázi PC technologií.

Aby byl daný výcvik efektivní, je zapotřebí co možná nejlépe simulovat daný děj. V našem případě let skutečného letadla. Z tohoto důvodu, musíme poskytnout cvičenému prostředí, které nahrazuje a napodobuje skutečný kokpit letadla a let v něm. Cílem je oklamat zrakové ústrojí cvičeného. Pro všechny tyto úlohy je u simulátorů použit vizualizační systém.

V práci jsou stručně podány informace o dnešních možnostech vizualizace leteckých simulátorů. Přehledně jsou popsány jejich principy, technologie, výhody a nevýhody. Od profesionálních, velice drahých kolimátorových systémů, které jsou tzv. TOP mezi těmito systémy a dokážou velice věrně podat obraz pilotovi, po ekonomicky nepříliš náročné systémy přímého zobrazení. Je zde věnován prostor i generátorům obrazu s uvedením předních zástupců pro použití na PC simulátorech, jejich porovnání a provedení samotného testu obou OG.

Návrh samotného vizualizačního systému pro potřeby Ústavu letecké dopravy vyžaduje nemalé znalosti a informace z oborů fyziky, zejména potom optiky, moderních informačních technologií, materiálů, ale i ekonomie a lidského činitele. Vzhledem k tomu, že vizualizační systém leteckého simulátoru a prvky ze kterých se skládá, nejsou zrovna nejlevnější záležitosti, nebyl jsem tedy schopen si veškeré metody a test navrhovaného zařízení prakticky ověřit. Snažil jsem se avšak tento nedostatek kompenzovat návštěvou různých komerčních i nekomerčních simulátorů a diskuzí se zahraničními konstruktéry těchto systémů.

10. SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ

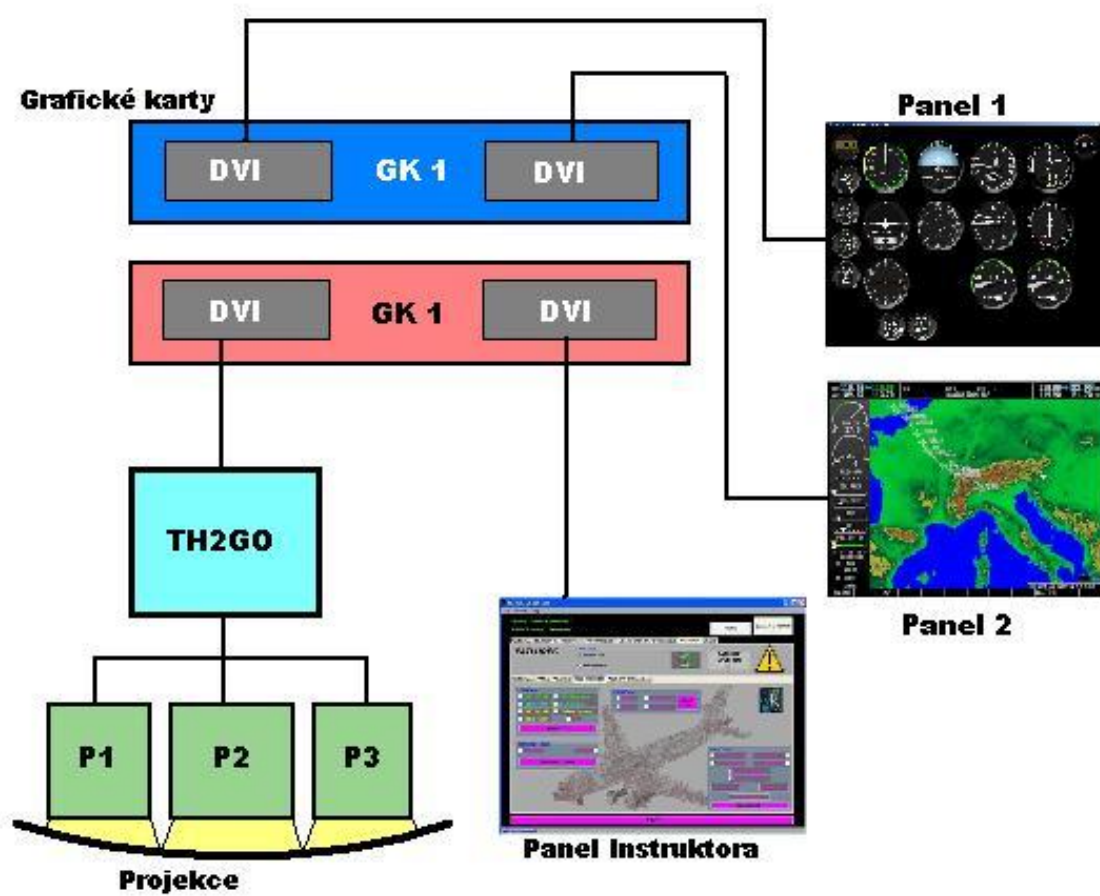
- [1] LEE T., A. :Flight Simulations. Aldershot : Ashgate Publishing, 2005. 134 s.
ISBN 978-0754642879
- [2] Lazar, T., a kol. : Tendencie vývoja a mdelovania avionických systémov, MO SR
VIA, Bratislava, 2000. ISBN 80-88842-26-3
- [3] <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm> (JAR-STD A- certifikace - 1.2.2010)
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Flight_simulator (historie a význam let. Simulátorů
8.3.2010)
- [5] http://www.frasca.com/web_pages/brochures/visual%20display%20systems.htm
(zobrazovací systémy simulátorů – 21.1.2010)
- [6] <http://immersaview.com/whitepapers/why-curved> (zakřivená projekční plocha –
6.3.2010)
- [7] <http://www.737ng.co.uk/setup.htm> (vícekanálové uspořádání 5.3.2010)
- [8] <http://www.x-plane.com/> (informace o X-Plane 11.3.2010)
- [9] <http://www.microsoft.com/Products/Games/FSInsider/default.aspx> (informace o
MSFS X – 22.1.2010)
- [10] <http://www.projectmagenta.com/cockpit/display.html> (zobrazovací systémy -
5.3.2010)
- [11] <http://www.glassmountain.com/Simulation/WACWindowDisplays> (kolimátorové
systémy - 20.12.2009)
- [12] <http://www.equipe-simulation.com/index.php?nav=collimateddisplay> (kolimátorové
systémy - 22.12.2009)
- [13] <http://www.projectorcentral.com/projection-calculator-pro.cfm> (projekční vzdálenost
- 28.3.2010)
- [14] <http://www.alza.cz> (výpočetní technika – 29.3.2010)
- [15] <http://immersaview.com/technology/sol7> (softwarové ladění obrazu – 22.3.2010)
- [16] <http://nthusim.com/setups> (softwarové ladění obrazu – 2.4.2010)
- [17] <http://www.itra.de/sim/AirEnglish/ap-radio/ActivePanel.htm> (přístorjové masky –
16.2.2010)
- [18] <http://www.highinthesky.cz/obchod/sortiment/1/0/> (software 12.3.2010)
- [19] <http://www.projectorscreenstore.com/PSS-Projector-Screens-Paint.html> (projekční
plochy - 17.2.2010)

11. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Bolkové schéma A.....	I
Příloha B – Blokové schéma B.....	II
Příloha C – Návrh rozměrů a vzdáleností v rovině A.....	III
Příloha D – Návrh rozměrů a vzdáleností v rovině B.....	IV

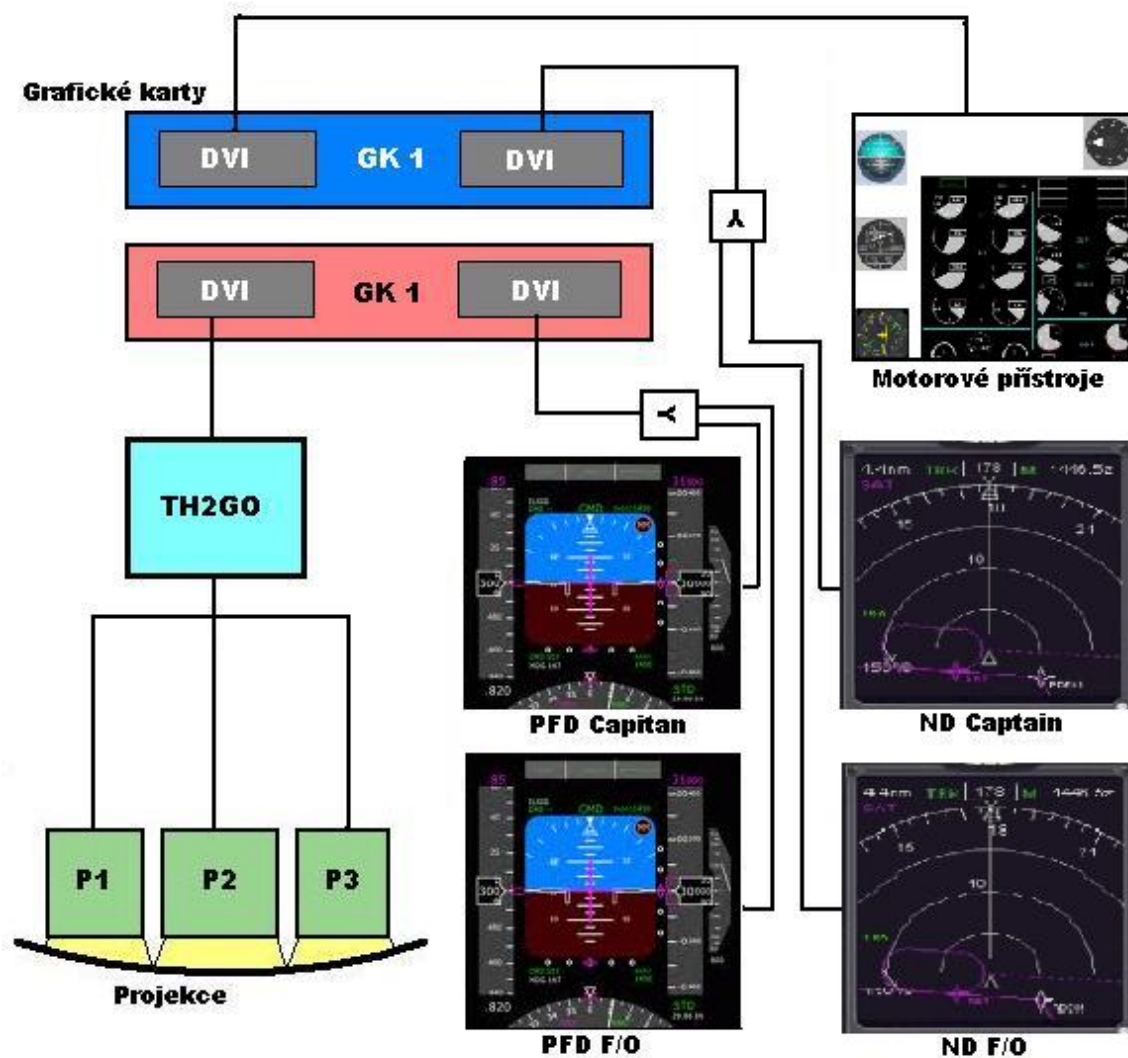
Příloha A

Blokové schéma zapojení vizualizačního systému simulátoru



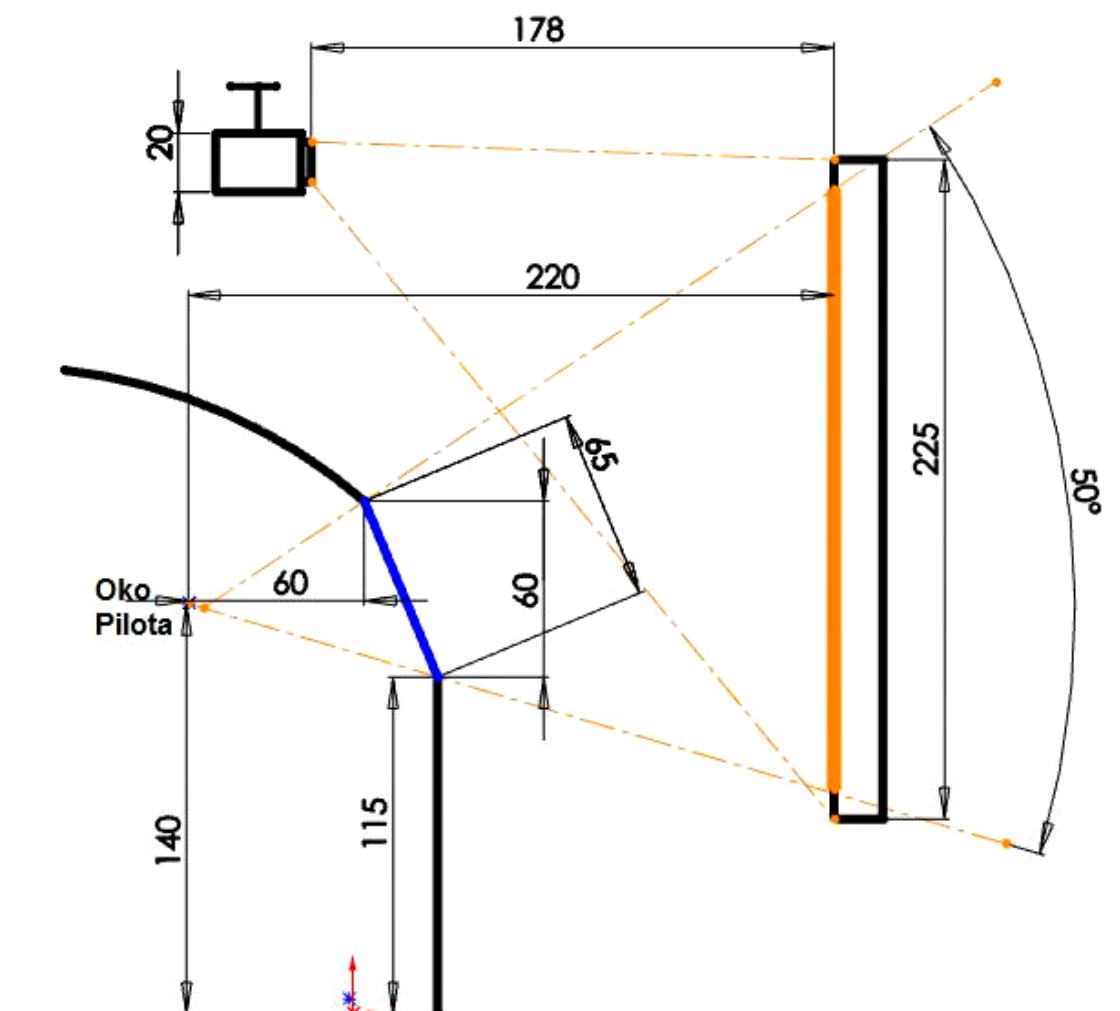
Příloha B

Blokové schéma zapojení vizualizačního systému simulátoru



Příloha C

Návrh rozměrů a vzdáleností v rovině A (cm)



Příloha D

Návrh rozměrů a vzdáleností v rovině B (cm)

